

Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riesasta raaka-aineeksi

Elodea-hankkeen loppuraportti

**Satu Maaria Karjalainen, Anna-Liisa Välimaa, Seppo Hellsten
ja Elina Virtanen (toim.)**



Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riesasta raaka-aineeksi

Elodea-hankkeen loppuraportti

**Satu Maaria Karjalainen, Anna-Liisa Välimaa, Seppo Hellsten ja
Elina Virtanen (toim.)**



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 18 | 2017

Suomen ympäristökeskus
Vesikeskus

Kirjoittajat: Seppo Hellsten¹⁾, Lea Hiltunen²⁾, Satu Maaria Karjalainen¹⁾, Minna Kuoppala¹⁾, Markku Pelkonen³⁾, Juha Riihimäki¹⁾, Anne-Mari Rytkönen¹⁾, Mika Sarkkinen¹⁾, Hilkka Siljander-Rasi²⁾, Teemu Ulvi¹⁾, Elina Virtanen²⁾, Anna Väisänen⁴⁾, Tero Väisänen¹⁾, Anna-Liisa Välimaa²⁾

¹⁾ Suomen ympäristökeskus

²⁾ Luonnonvarakeskus

³⁾ Jahotec Oy, Luleå tekniska universitet

⁴⁾ Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry

Vastaava erikoistoimittaja: Ahti Lepistö

Rahoittaja/toimeksiantaja: Euroopan aluekehitysrahasto

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

PL 140, 00251 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Tiina Laamanen

Kannen kuva: Seppo Hellsten

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke sekä ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: syke.juvenesprint.fi

ISBN 978-952-11-4843-9 (nid.)

ISBN 978-952-11-4844-6 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

Julkaisuvuosi: 2017

TIIVISTELMÄ

Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riesasta raaka-aineeksi

Koillismaalla vesistöjen virkistyskäyttöä ja kalastusta on haitannut järviin yhä laajemmin levinnyt kanadanvesirutto (*Elodea canadensis*). Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi -hankkeessa vesirutolle etsittiin erilaisia hyötykäyttötapoja, jotta vesistöstä nostettu suuri kasvimateriaali ja sen sisältämät aineet saataisiin hyödynnettyä kierto- ja biotalouden tavoitteiden mukaisesti. Neljällä Koillismaan järvellä tutkittiin kasvibiomassan määrää sekä näytealoilta että veneestä käsin kaikuluotausmenetelmällä. Tutkimusjärivistä kolmella selvitettiin lajin koostumusta sekä sen vaikutusta ihmiselle haitallisiin mikrobeihin ja kasvipatogeeneihin. Lisäksi testattiin kasvimateriaalin sopivuutta biokaasun tuotantoa varten ja tutkittiin tämän prosessin tuloksena syntyvän rejektin eli mädätejäännöksen soveltuvuutta jatkokäyttöön muun muassa maanparannusaineena.

Kaikuluotausmenetelmällä pystyttiin arvioimaan suuntaa-antava suuruusluokka järven kaikkien vesikasvien biomassalle. Kuitenkin tarkempaa ja luotettavampaa biomassaa arviota varten tulisi vertailunäytealoja sijoittaa koko uposkasvillisuuden esiintymisen syvyysvyöhykkeille riittävä määrä. Biomassan sisältämät aineet olivat lähes täysin kuiva-aineessa, koska vesirutosta veden mukana poistunut ainemäärä oli vähäinen. Vaikka aineet ovat suurimmaksi osaksi sitoutuneet kasviin, on suositeltavaa poistaa vesirutto vesistöstä siten, etteivät ravinteet pääse valumaan takaisin vesistöä rehevöittämään. Tutkituissa järvissä vesiruton raskasmetallipitoisuudet eivät pääsääntöisesti rajoita vesiruton hyötykäyttöä, johon on monia mahdollisuuksia. Kasvibiomassan havaittiin sopivan hyvin biokaasutuksen syötemateriaaliksi korkean metaanintuottopotentiaalinsa ansiosta. Biokaasutuksen mädätysjäännöksenä syntyvä rejekti sisältää huomattavia määriä pää- ja hivenravinteita, joten se on myös arvokasta lannoitusainetta. Joidenkin ravinteiden osalta rejektin käyttö vaatisi kuitenkin myös täydennyslannoitusta. Rejektin havaittiin estävän siementen itämistä laboratorio-olosuhteissa, joten sillä saattaa olla kasvien kasvua rajoittavia vaikutuksia myös pelto-olosuhteissa, mikä tulisi ottaa huomioon rejektin levityspaikan ja -ajankohdan suunnittelussa. Lisäksi tulee huomioida myös rejektin käyttöä ja levitystä koskeva lainsäädäntö sekä tukiehdot. Vesiruttoa voi olla mahdollista hyödyntää myös viljelykasvien kasvitautilien biologisessa torjunnassa. Vesirutolla ja siitä poistuvalla vedellä havaittiin perunarupea aiheuttavien sädebakteerien ja joidenkin kasvipatogeenisten sienten kasvua estäviä/hidastavia biologisia ominaisuuksia laboratorio-oloissa. Torankijärvestä havaittu vesiruton suuri mangaanipitoisuus, Kuusamojärven vesiruton alumiinipitoisuus ja kaikkien tutkittujen järvien vesiruttojen rautapitoisuudet rajoittavat kuitenkin vesiruton elintarvike- ja rehukäyttöä. Rehukäyttöä suunniteltaessa tulisikin aina määrittää kasvimassan kemiallinen koostumus ja erityisesti hivenaineiden pitoisuudet etukäteen. Tutkimustulosten perusteella vesirutto ei ole ravitsemuksellisesti niin arvokasta eikä turvallista käytettäväksi ihmisravintona, että sille kannattaisi hakea työlästä ja kallista uuselintarvikestatusta. Näiden tulosten perusteella vesirutto ei myöskään näyttäisi soveltuvan käytettäväksi säilöntäaineena kosmetiikassa tiettyjen bakteerien kasvunestoon.

Tutkimuksessa koottu aineisto koostui neljästä järvestä ja suhteellisen pienistä näytemääristä. Tämän vuoksi suunniteltaessa vesiruton jatkokäyttöä tulisi vielä tehdä tarkentavia ja käyttötarkoitusta varten kohdistettuja analyyseja, sekä esimerkiksi peltokokeita ja maittavuuskokeita eläimille. Vesiruton kerääminen on mahdollista vain avovesikauden aikana, joten sen jatkokäyttöä varten tulisi selvittää tarpeet muun muassa esikäsittelyyn, säilönnän ja varastoinnin osalta. Kasvibiomassan poistamisessa ja hyödyntämisessä huomioitavat asiat onkin koottu toimintamalliin, jossa on kuvattu eri hyötykäyttövaihtoehtojen arvoketjujen päävaiheet ja niihin vaikuttavat tärkeimmät tekijät, sekä tarvittavat toimijat eri vaiheissa. Lisäksi toimintamallissa on arvioitu eri vaihtoehtoihin liittyviä riskejä ja kehittämistarpeita. Eri käyttömuotojen kannattavuuden selvittäminen ja laajemman mittakaavan pilotointi tulisikin tehdä tulevissa hankkeissa. Pilotoinnin vetäjäksi tarvittaisiin paikallinen kehittämisyritys tai muu riittävän iso toimija.

Asiasanat: vesirutto, biomassa, hyötykäyttö, koostumus, ravintoaineet, maanparannusaineet, biokaasu, kosmeettiset tuotteet, rehut, vesienhoito

SAMMANDRAG

Nytta av vattenpesten i bioekonomi - från bry till råvara

Den kanadensiska vattenpesten, som spritt sej alltmer i nordostlig riktning, hindrar rekreativ användning och fiske i vattendragen. I projektet ”Nytta av vattenpesten (Elodea) - från bry till råvara” föreslogs olika kommersiella användningsområden där växtmaterial och ämnena de innehåller som tagits upp från vattendragen kunde utnyttjas enligt bio- och cirkulationsekonomin målsättningar. I fyra sjöar i nordostliga Finland undersöktes mängden vattenpestbiomassa både från provytor och med ekolod från båt. I tre av sjöarna undersöktes dessutom vattenpestsammansättningen och vattenpestens inverkan på skadliga mikrober och växtpatogener. Dessutom testades vattenpestens lämplighet för produktion av biogas samt det återstående rejektets dvs. rötrestets lämplighet som jordförbättringsmedel.

Den preliminära biomassan av alla vattenväxter uppskattades med ekolod. För mera noggranna och pålitliga biomassabedömningar borde tillräckligt provrutor placeras i sjön och på alla djup där submersa vattenväxter förekommer, som sedan undersöks med ekolod. Innehållet i vattenpestbiomassan motsvarade nästan helt innehållet i torrsubstansen, eftersom förlusten via vattnet inte är stor. Fast ämnena till största del är bundna till växterna, rekommenderas det att vattenpesten avlägsnas från vattendragen på ett sätt, som hindrar att näringsämnena återträn tillbaka till vattendragen. Halten av tungmetaller begränsar i huvudsak inte användningen av vattenpest för kommersiellt bruk i de undersökta sjöarna. Vattenpesten har många möjliga användningsmöjligheter. Den passar bra som inmatningsmaterial för bioförgasning p.g.a. sin höga potential att producera metan. Rötrestet är värdefullt gödslingsmedel, eftersom det innehåller betydande mängder huvudnäringsämnen och spårämnen. För vissa näringsämnen fordrar rötrestet också kompletterande gödning. I laboratorieförhållanden inhiberade rötrestet grodden av utsäde, vilket kan betyda inhibering av växternas tillväxt också i fältförhållanden. Detta borde tas i beaktande vid planeringen av spridningsområdet och tidpunkten för spridning av rötrestet. Lagstiftningen och villkoren för understöd bör dessutom beaktas. Vattenpest kan också utnyttjas vid biologisk bekämpning. I laboratorieförhållanden noterades att vattenpest och vatten från vattenpest hindrade/inhiberade vissa biologiska egenskaper som påverkar tillväxten av strålsvampar som orsakar potatispest och visa andra växtpatogener. Vattenpestens användning som livsmedel eller foder begränsas av de stora manganhalterna som observerades i Torankijärvi, av vattenpestens aluminiumhalt i Kuusamojärvi och vattenpestens järnhalt i alla undersökta sjöar. Växtmassans kemiska sammansättning och speciellt koncentrationen av spårämnen borde bestämmas i förhand ifall foderanvändning planeras. Resultaten visar att vattenpest inte näringsmässigt är så värdefull eller trygg, att det skulle vara värt att ansöka om nytt livsmedel status. Enligt dessa resultat passar inte vattenpest heller som konserveringsämne i kosmetik för att förhindra växt av vissa bakterier.

Materialet som undersökningen baseras på bestod av högst fyra sjöar och en förhållandevis liten provmängd per sjö. Vid planeringen för användandet av vattenpest borde därför ännu fokuserade och ändamålsenliga analyser göras och vid behov t.ex. fältstudier och smakundersökningar för djur. Insamling av vattenpest är möjligt bara under den isfria tiden, så för vidare användning av vattenpest borde man också utreda bl.a. behovet av förbehandlingar, konservering och lagring. Synpunkter som bör noteras vid avlägsnandet och utnyttjande vattenpest beskrivs i en verksamhetsmodell, där förädlingskedjans huvudpunkter är beskrivna samt de viktigaste faktorerna som inverkar på dem. Dessutom beskrivs de nödvändiga berörda parterna i olika stadier samt riskerna och utvecklingsbehoven för de olika alternativen. I framtida projekt borde den ekonomiska lönsamheten av olika användningsformer klarläggas och försök i större skala göras. Ett lokalt utvecklingsbolag eller någon stor sammanslutning borde leda sådana projekt.

Nyckelord: vattenpest, biomassa, nyttobruk, uppbyggnad, näringsämnen, jordförbättringsmedel, biogas, kosmetiska produkter, fodermedel, vattenvård

ABSTRACT

Utilization of Canadian waterweed in bioeconomy – from nuisance to source of raw materials

Recreational use and fishing have been hindered by the ever-expanding Canadian waterweed on the lakes of Koillismaa region in Finland. The project “Utilization of Canadian waterweed – from nuisance to source of raw materials (Elodea)” looked for a variety of utilization methods for the Canadian waterweed in order to make use of the large amount of plant material and the substances it contains. This is also in line with the objectives of circular economy and bio-economy. In the four lakes of Koillismaa, the amount of Canadian waterweed biomass was studied with echo sounding method. The chemical compositions of Canadian waterweeds sampled from three study lakes were analysed, and the effect of waterweed on harmful microbes and plant pathogens was determined. In addition, the suitability of the Canadian waterweed for the production of biogas was tested, and the use of the residue i.e. the by-product generated during the biogas process, was further studied as a soil amendment.

The echo sounding method gave an estimate of the biomass of all aquatic plants in the lake. However, for a more accurate and reliable biomass assessment, reference sampling areas should be placed in different depth zones of submerged plants. The chemical substances in waterweed biomass were almost completely in dry matter as the amount of water leaching from the waterweed was not high. Even if the chemical substances are mainly bound to the dry matter of plant, it is advisable to remove the waterweed with its water from the watercourse so that the nutrients are not released back to the water of watercourse. In the studied lakes, the heavy metal content of the Canadian waterweed does not, as a rule, limit the utilization of the waterweed. Canadian waterweed was found to have many uses. It was well suited to be used as a biogas substrate due to its high methane potential. The residue generated during the biogas production as a result of anaerobic digestion contains significant amounts of main and micro nutrients, and it is therefore a valuable fertilizer. However, for some nutrients, the use of residue would also require a supplement fertilizer. The residue was found to prevent seed germination under laboratory conditions so it may have plant growth-limiting effects also under field conditions, which should be taken into account when choosing the site and date of application. In addition, legislation on the use of the residue as well as terms of subsidies should be complied with. Biomass and exudates of Canadian waterweed inhibited growth of *Streptomyces* bacteria causing potato common scab and some plant pathogenic fungi in laboratory conditions indicating that waterweed may have potential in biological control. The high manganese concentrations of Canadian waterweed observed in the Lake Torankijärvi, the aluminium content of waterweed in the Lake Kuusamojärvi, and the iron concentrations of waterweed in all studied lakes, however, limit the food and feed utilization of waterweed. When planning forage use, it is always necessary to determine the chemical composition of the waterweed and, in particular, the concentrations of trace elements in advance. According to the results of this research, the Canadian waterweed is not nutritionally so valuable and safe for human consumption that it would be advisable to apply for laborious and costly novel food status. In addition, based on the results, the Canadian waterweed does not appear to be suitable as a preservative in cosmetics for the growth of certain bacteria studied.

The data collected consisted of four lakes and a relatively small amount of samples. Consequently, when planning further use for the Canadian waterweed more precise and purpose-oriented analyses should be made, e.g. field experiments and palatability tests for animals. Harvesting waterweed is only possible during the open water season, thus it is necessary to find out for its further use the needs for pre-treatment, preservation and storage of waterweed. The issues to be taken into account in the removal and exploitation of a waterweed are summarized in an operational model. It describes the main phases of the value chains of the different utilization options and the main factors influencing them, as well as the necessary operators at different stages. In addition, the risks associated with different options and development needs are assessed in the operational model. Exploring the profitability of different forms of waterweed use and wider-scale piloting should be done in future projects. Local development company or other large operator should launch such a project.

Keywords: *Elodea canadensis*, biomass, utilization, composition, nutrients, soil amendments, biogas, cosmetics, forage, river basin management

ESIPUHE

Haitallinen vieraslaji kanadanvesirutto (*Elodea canadensis* Michx.) on levinnyt moniin Koillismaan järviin, joissa se muodostaa vesien käyttöä ja monimuotoisuutta haittaavia massakasvustoja. Kasvustojen poisto on työlästä ja osin jopa mahdotonta. Bio- ja kiertotalouden tavoitteiden myötä heräsi tarve selvittää, voisiko vesiruton suuria biomassoja hyödyntää ja lisätä samalla poiston kannattavuutta. Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi (*Elodea*) -hankkeen tavoitteena oli löytää erilaisia vesiruton hyödyntämistapoja, joiden pohjalta voitaisiin muodostaa liiketoimintaa. Vesiruton hyödyntämisessä tulee ottaa huomioon, että kasvimateriaali alkaa hajota heti vesistöstä poistamisen jälkeen. Hankkeessa laadittiin vesiruton hyödyntämiselle toimintamalli, jossa on kuvattu vesiruton poistoon ja biomassan hyötykäyttöön liittyvät toimintatavat ja huomioitavat asiat.

Elodea-hanketta rahoittivat Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) Pohjois-Suomen ohjelma Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin ELY-keskusten kautta, Koillis-Suomen Kehittämisyhtiö Naturpolis Oy, Kuusamon Energia- ja Vesiosuuskunta, Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Luonnonvarakeskus (Luke).

Kiitämme kaikkia projektin rahoittajia ja yhteistyökumppaneitamme, jotka mahdollistivat projektin toteuttamisen. Haluamme myös kiittää agrologi Teemu Uutelaa, joka teki harjoittelunsa *Elodea*-hankkeen parissa. Erityisesti haluamme kiittää hankkeen ohjausryhmän puheenjohtajaa Heikki Tahkolaa ProAgria Oulusta, sekä ohjausryhmän jäseniä, jotka antoivat projektille arvokasta tietoa ja palautetta koko projektin toteutusajan.

Toimittajat

SISÄLLYS

Tiivistelmä.....	3
Sammandrag.....	4
Abstract.....	5
Esipuhe.....	6
Johdanto	10
OSA I Vesirutto – haitallinen vieraslaji	11
1. Vesirutto maailmalla, Suomessa ja Koillismaalla.....	13
2. Vesikasvillisuuden biomassan arviointi järvissä.....	16
2.1 Johdanto.....	16
2.2 Aineisto ja menetelmät	16
2.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu	17
2.4 Johtopäätökset	20
3. Vesiruton koostumuksen vaihtelu	21
3.1 Johdanto.....	21
3.2 Aineisto ja menetelmät	22
3.2.1 Tutkimuskohdeet	22
3.2.2 Näytteenotto vesiruton biomassan laadun arviointia varten.....	23
3.2.3 Vesiruton koostumuksen määrittäminen	24
3.2.4 Pohjasedimentin laatu.....	25
3.2.5 Näytteenottopaikan vedenlaatu sekä vesiruttomassasta poistunut vesi.....	25
3.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu	25
3.4 Vesiruttomassaan sitoutuneet ainemäärät.....	32
3.5 Johtopäätökset	32
OSA II Vesiruton hyötykäyttömahdollisuudet	33
4. Vesiruton mahdollisuudet biokaasutuksessa	35
4.1 Tausta ja tavoitteet.....	35
4.2 Aineisto ja menetelmät	35
4.2.1 Syötemateriaalit.....	35
4.2.2 Reaktorit	37
4.2.3 Reaktoreiden syöttäminen	39
4.2.4 Mittaukset	40
4.2.5 Laboratoriomittaukset.....	40
4.3 Tulokset	40
4.4 Tulosten tarkastelu.....	46
4.5 Tulosten hyödyntäminen ja johtopäätökset	46
4.5.1 Vesiruton soveltuvuus biokaasutukseen.....	46
4.5.2 Biokaasutuksesta lisäarvoa järvikunnostuksiin?	47
4.5.3 Johtopäätökset	48
5. Vesiruttoa pellolle - paranisiko kasvu ja vähenisivätkö kasvitaudit?.....	49

5.1 Johdanto.....	49
5.2 Aineisto ja menetelmät	50
5.2.1 Biomassan ominaisuudet	50
5.2.2 Rejektin ominaisuudet	51
5.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu	52
5.3.1 Biomassan ominaisuudet ja hyödyntäminen	52
5.3.2 Rejektin ominaisuudet ja hyödyntäminen	56
5.4 Johtopäätökset	59
6. Soveltuisiko vesirutto elintarvikkeeksi tai kosmetiikkateollisuuteen?	61
6.1 Johdanto.....	61
6.2 Aineisto ja menetelmät	62
6.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu	64
6.3.1 Elintarvikekäyttö	64
6.3.1.1 Proteiini- ja aminohappopitoisuudet.....	64
6.3.1.2 Rasva- ja välttämättömien rasvahappojen pitoisuudet	65
6.3.1.3 Kivennäisaineet	66
6.3.1.4 Vitamiinit.....	67
6.3.1.5 Karotenoidit	68
6.3.1.6 Flavonoidit.....	69
6.3.1.7 Vierasaineet: raskasmetallit.....	69
6.3.2 Mikrobiologiset määritykset.....	72
6.3.2.1 Mikrobimääristä yleisesti	72
6.3.2.2 Antimikrobiset vaikutukset	73
6.3.3 Uuselintarvikkeeseen liittyvää lainsäädäntöä	74
6.3.4 Kosmetiikkakäyttö	
6.3.4.1 Kosmetiikan turvallisuus	76
6.3.4.2 Säilöntäainevaikutukset	77
6.3.4.3 Antioksidanttivaikutukset.....	78
6.4 Johtopäätökset	78
6.4.1 Elintarvikekäyttö	78
6.4.2 Kosmetiikkakäyttö	79
7. Rehuako vesirutosta?	80
7.1 Johdanto.....	80
7.2 Aineisto ja menetelmät	81
7.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu	82
7.3.1 Biomassanäytteistä valunut vesi.....	82
7.3.2 Kemiallinen koostumus rehukäytön kannalta.....	83
7.3.3 Ravintoaineiden <i>in vitro</i> -sulavuus	88
7.3.4 Vesiruton käytännön mahdollisuudet rehuksena.....	89
7.4 Johtopäätökset	90
8. Vesiruton hyötykäyttö - työpajan tulokset.....	91
8.1 Vesiruton käyttö maanparannusaineena	91
8.2 Käyttö biokaasutuksessa.....	93
8.3 Käyttö rehuna	93
8.4 Käyttö kasvitautien torjunnassa.....	94
8.5 Toimijat vesiruton poistossa.....	94
8.6 Vesiruton poiston toteuttaminen.....	94

8.7 Rahoituksen tarve jatkokehitykseen	95
8.8 Palaute seminaarista ja työpajasta	95
8.9 Johtopäätökset	97
OSA 3 Toimintamalli vesiruton hyötykäytön edistämiseksi	99
9. Toimintamalli vesiruton hyötykäytön edistämiseksi.....	101
9.1 Vesiruton hyödyntämisen arvoketjujen prosessit.....	102
9.2 Vesiruton korjuu	102
9.3 Biomassan esikäsittely.....	103
9.4 Lastaus ja kuljetus	104
9.5 Biomassan hyötykäyttö, sivuvirtojen hyödyntäminen ja jätteiden käsittely	104
9.6 Vesiruton hyödyntämiseen liittyvät riskit.....	105
9.6.1 Tekniset riskit	106
9.6.2 Vesiensuojelulliset riskit	106
9.6.3 Hygieeniset laaturiskit	106
9.6.4 Taloudelliset riskit	107
9.6.5 Lupiin liittyvät riskit.....	107
9.7 Vesiruton hyötykäytön toimintamalli.....	107
9.8 Hyödyntämisvaihtoehtojen toteutettavuuden arviointi.....	108
10. Yhteenveto ja ehdotukset jatkotoimista	111
LIITE 1. Vesiruton biomassan ravinneanalyysitulokset (n=1).....	119
LIITE 2. Vesiruton kuiva-aineen alkuainemäärät	120
LIITE 3. Rejektin ravinne- ja haitta-aineanalyysitulokset.....	121
LIITE 4. Rejektin hygienianalyysit	122
LIITE 5. Biomassan peruskoostumus, aminohappo- ja rasvahappoanalyysit	123
LIITE 6. Karotenoidi-, tokoli-, antioksidanttiaktiivisuus- ja flavonoidianalyysit.....	125

Johdanto

Kanadanvesirutto (*Elodea canadensis*) on Suomessa vieraslaji, joka on levinnyt Etelä- ja Keski-Suomen lisäksi laajasti Koillismaan järviin. Suomessa se on määritelty haitalliseksi vieraslajiksi kansallisessa vieraslajistrategiassa (MMM 2012). Laji on erittäin herkkä leviämään versomaisen kasvutapansa ja kasvullisen lisääntymisen takia, joten pienestäkin versonpalasesta voi kehittyä massakasvusto suotuisissa olosuhteissa. Vesirutto viihtyy erityisesti kirkasvetisissä, matalissa ja lievästi rehevöityneissä järvissä, lammissa, hitaasti virtaavissa jokivesissä, suurissa ojissa sekä vähäsuolaisissa merenlahdissa. Vesirutto ei menesty happamissa, humuspitoisissa vesissä, vaan sen pH-optimi on jopa 9–9,5. Tiheiden kasvuston yhteyttäminen nostaa veden pH:ta päivällä, mutta öisin pH laskee aiheuttaen muulle eliöstölle ongelmia. Biomassan hajoaminen vapauttaa kasvien sitomat ravinteet takaisin veteen, mutta myös kuluttaa veden happea vapauttaen ravinteita myös sedimentistä. Massaesiintymä saattaa jäädä muutaman vuoden mittaiseksi, mutta erityisesti rehevissä vesissä se voi kestää vuosikymmenestä toiseen. Vesiruton vaimaamat järvet ovat yleensä kirkasvetisiä, koska uposlehtisenä se hyötyy runsaan valon määrästä.

Koillismaalla monet järvet ovat kirkasvetisiä ja matalia sekä ennen kaikkea lievästi emäksisiä kalkkipitoisen kallioperän takia. Vesirutto havaittiin ensimmäisen kerran vuonna 1999 eräissä pienissä järvissä, mutta jo vuonna 2001 laajoja massakasvustoja tavattiin Joukamojärvestä. Kymmenen seuraavan vuoden aikana laji oli leviittänyt miltei koko Kuusamon alueelle muodostaen massakasvustoja myös melko vähäravinteisissa Kitkajärvissä. Kasvustot eivät Koillismaalla taannu nopeasti, vaan ovat esiintyneet runsaana melkein 15 vuoden ajan. Vesiruton massaesiintyminen vaikuttaa järvien viralliseen ekologiaan luokitteluun alentavasti.

Koillismaan luontomatkailun ja kalastuksen kannalta vesirutto on osoittautunut hyvin ongelmalliseksi. Puhtaasta luonnosta tunnettu alue kärsii vesiruton esiintymisestä, joka haittaa vesistöjen virkistyskäyttöä ja kalastusta. Toisaalta vesirutto sitoo biomassansa runsaasti ravinteita ja samalla estää haitallisten leväkukintojen synnyn. Vesiruton poistamiseksi Kuusamossa on kokeiltu sedimentin käsittelyä fosforia sitovalla Phoslock®-kemikaalilla (Väisänen 2014), mutta menetelmän kalleuden takia se soveltuu ainoastaan hyvin rajallisille alueille, kuten uimarannoille tai venevalkamiin. Vesiruttomassan poistaminen raivausnuotilla tai koneellisesti on suhteellisen kallista. Lisäksi vesiruton poistaminen voi joissain tapauksissa jopa edistää kasvin leviämistä pienistä palasista sekä lisätä levien massaesiintymiä. Biomassan poistaminen vesistöstä vähentää kuitenkin vesistön ravinnemääriä. Vesirutto pystyy juuristonsa kautta ottamaan sedimentistä ravinteita ja näin kehittämään nopeasti uuden kasvuston. Tämän takia vesiruton valtaamassa järvessä vesiruttoa joudutaan poistamaan toistuvasti. Toisaalta biomassaa on materiaalina saatavilla pitkälläkin aikavälillä, minkä vuoksi lajin hyötykäyttöä alettiin pohtia hankkeessa ”Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi (Elodea)”.

Elodea-hankkeen tavoitteena oli löytää erilaisia vesiruton käyttötapoja, joiden kautta vesistöstä nostettu suuri biomassa saataisiin hyödynnettyä kierto- ja biotalouden tavoitteiden mukaisesti. Samalla voitaisiin välillisesti alentaa poiston suuria kustannuksia. Tässä julkaisussa on esitelty kenttä- ja laboratoriokokeiden avulla vesiruton hyötykäyttömahdollisuudet sekä kuvattu mahdollista toimintamallia alkaen vesiruton poistamisesta vesistöstä ja päätyen sen hyötykäyttömahdollisuuksiin. Toimintamallissa tuodaan myös esille vielä selvittävät seikat hyötykäytön mahdollistamiseksi sekä käyttöön liittyvät riskit. Tämän toivotaan myös auttavan tahoja, jotka suunnittelevat liiketoiminnan aloittamista vesiruton poistamiseksi vesistöstä tai vesiruttomassan jatkokäytössä.

OSA I Vesirutto – haitallinen vieraslaji



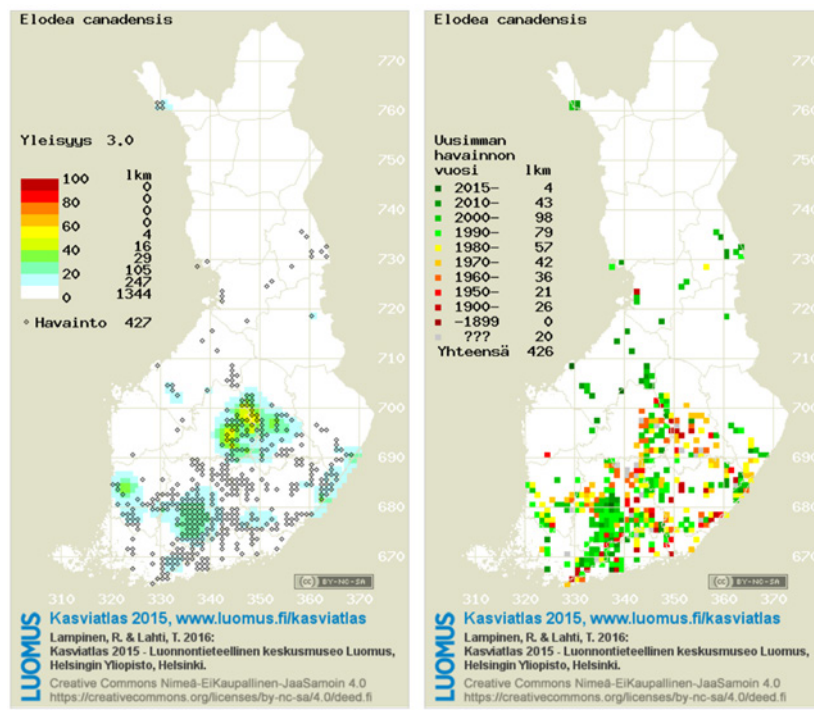
Yli-Kitkan Lohirannan Välikarin venerannan vesiruttoa tutkimassa. Kuva: Satu Maaria Karjalainen

1. Vesirutto maailmalla, Suomessa ja Koillismaalla

Anna Väisänen, Seppo Hellsten ja Minna Kuoppala

Kanadanvesirutto (*Elodea canadensis* Michx) on kilpukoihin (Hydrocharitaceae) kuuluva uposkasvi, joka tuotiin Pohjois-Amerikasta vuonna 1836 Irlantiin, josta se levisi laajalle Eurooppaan (Simpson 1984). Suomeen laji saapui Helsingin yliopiston kasvitieteelliseen puutarhaan professori Fredrik Elfvingin hankkimana vuonna 1884 (Hintikka 1917). Vesirutto oli havaittu hieman aiemmin 1880–81 Venäjällä Pietarin lähellä Kamenka-jossa (Bazarova & Pronin 2010). Viimeisimpien geneettisten tutkimusten perusteella laji on levinnyt Suomeen useita kertoja (Huotari ym. 2011).

Vesiruton levinneisyys kattaa nykyisin Etelä- ja Keski-Suomen, minkä lisäksi erillisesiintymiä on Lappissa ja Koillismaalla (Lampinen & Lahti 2016), sekä merialueilla Suomenlahdella, Porin edustalla ja Perämerellä (Ljungberg ym. 2011). Kasvi on levittäytynyt viime vuosina voimakkaasti pohjoiseen, mikä todennäköisesti liittyy ilmaston lämpenemiseen, ja vesiruton on ennustettu jatkavan levittämistään talvien leudontumisen myötä (Heikkinen ym. 2009).



Kuva 1. Vesiruton levinneisyysalue Helsingin yliopiston kasviatlaksen mukaan.

Vesiruttoa luonnehtii nopea kasvu ja lisääntyminen, joka tapahtuu kasvullisesti. Euroopassa kasvista esiintyy vain emikasveja. Vesirutto katkeaa helposti ja kykenee lisääntymään hyvinkin pienistä verson osista: neljän nivelvälin mittainen kasvin kappale pystyy kasvamaan uudeksi kasviksi (Barrat-Segretain ym. 1998), ja yhdenkin nivelvälin mittaisen palan on todettu pysyvän elinkykyisenä (Riis ym. 2009).

Verson osat voivat kellua ja kulkeutua aallokon, virtausten, kalanpyydysten, veneiden tai lintujen mukana uudelle kasvupaikalle ja juurtua nopeasti (Johnstone 1985). Varsinkin suuret massakasvustot irtoa-

vat usein pohjasta ja nousevat pintaan. Oletettavasti kasvi leviää Kuusamon alueella virtausten lisäksi sitä ravintonaan käyttävien vesilintujen mukana irrallisina versonkappaleina (esimerkiksi joutsen, tavi), sekä jossain määrin myös veneiden sekä kalastusvälineiden kautta erityisesti järven sisällä. Kasvin levittäytyminen Kuusamossa ylävirtaan tukee näitä havaintoja. Vesirutto viihtyy erityisesti emäksisissä ja runsasravinteisissa matalissa järvissä ja lahdissa sekä hitaasti virtaavissa joissa. Tyypillisin kasvusyvyys vesirutolle on 0,5–3 metriä, kirkkaissa järvissä jopa syvempi (Hämet-Ahti ym. 1998). Kuusamossa suurin havaittu kasvusyvyys on noin 3 m.

Kuusamossa lajin havaittiin vuonna 1999 ensimmäisen kerran muodostavan massakasvustoja Karjalan tasavallan puolelle Pistojokeen laskevista vesistöistä (Joukamojärven Vähälahti, Syväjoki lähellä Tiirikajärveä, Tiirakajärvi, Vuolajärvi ja Välijärvi), mutta ensimmäiset havainnot kasvista tehtiin jo kymmenkunta vuotta aiemmin Taivalkosken Koitijärvellä 1980–90 luvun vaihteessa (Ulvinen & Varkki 1999). Joukamojärveltä kasvi levisi ylävirtaan Muojärvelle ja myöhemmin mm. Rukajärveen (Teemu Junttila, suullinen tiedonanto). Vesiruton leviämisen vaiheita Kuusamossa on koostettu kuvaan 2. Leviäminen on ollut Suomen oloissa poikkeuksellisen nopeaa ja käytännössä kaikki Kuusamon suuret lievästi alkaliset järvet ovat vesiruton vaivaamia. Leviäminen on tapahtunut vajaassa kahdessa vuosikymmenessä.

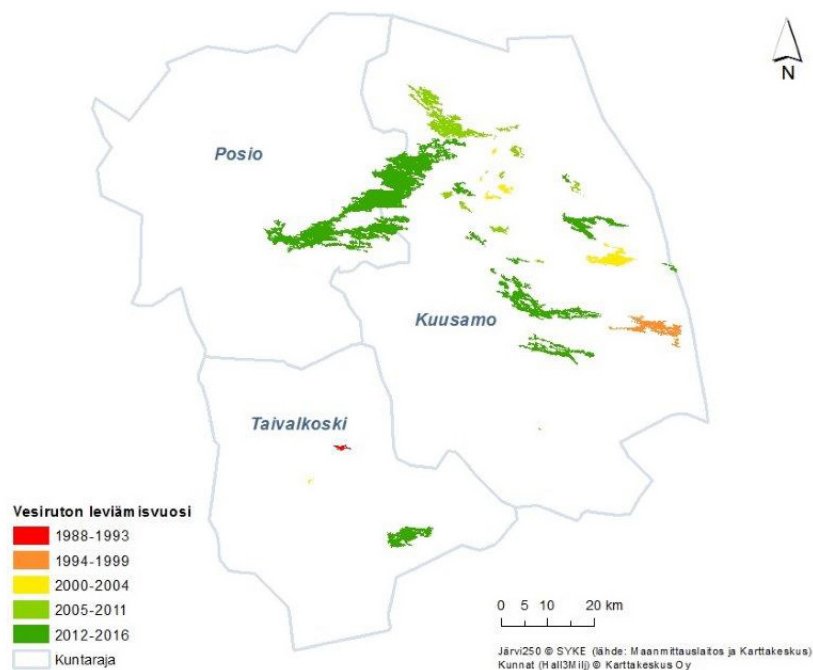
Vesiruttokartoituksia on tehty Kuusamon seudulla vuosina 2009–2011 Nesslingin säätiön rahoituksella. Tarkempi kartoitus tehtiin yhteensä 23 järveltä, jonka lisäksi tietoja on kerätty kasvin esiintymisestä alueen järvissä haastattelujen ja JärviWikin perusteella. Vesiruton leviämiselle alttiit Koillismaahan järvet on esitetty kuvassa 3. Riskinarviointi on tehty pääosin järvien pohjanläheisen vesikerroksen happamuuden perusteella. Arviointia varten käytettiin pohjanläheisen vesinäytteen pH:n minimiä niistä järvistä, joissa vesiruttoa tiedetään nyt esiintyvän. Koillismaahan muiden järvien vastaavaa pH-arvoa verrattiin tähän siten, että niillä järvillä, joiden veden pH:n minimi tai mediaani oli suurempi kuin edellä mainittu minimiarvo (pH 6,3), katsottiin olevan vesiruton leviämiskasvu. Lisäksi riski tunnistettiin vesienhoidon pintavesityypittelyn mukaisilla runsaskalkkisilla järvillä sekä kalkkialueiden läheisyydessä olevilla järvillä. Jos veden pH:sta oli vain 1–2 mittausta, se luokiteltiin luokkaan ”Riski mahdollinen, ei tarpeeksi tietoa.” Niillä järvillä, jotka eivät täyttäneet mitään edellä mainittuja kriteerejä, riskin katsottiin olevan pieni.

Ala-Kitkalla on tutkittu vesiruton vaikutuksia muihin vesikasveihin 33 kasvillisuuslinjalla järven eri osissa (Väisänen ym. 2011). Vesirutto esiintyi 21 %:lla linjoista ja 9,2 %:lla tutkituista 1 m² ruuduista linjoilla (33 x 9 kpl). Vesirutto peitti 1–90 % tutkimusruutujen pinta-alasta. Alustavien tulosten mukaan sillä ei ollut vaikutusta muiden vesikasvien esiintymiseen ja peittävyys (Väisänen ym. 2011). Vesiruton on havaittu joissain tutkimuksissa syrjäyttävän herkempiä vesikasveja (Rørslett ym. 1986, Kozhova & Izhboldina 1993).

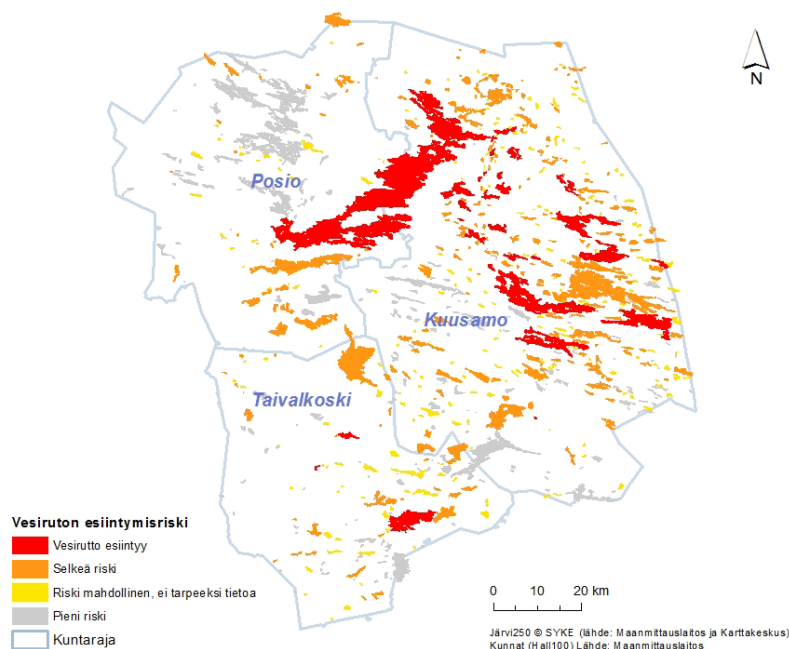
Massakasvustojen aiheuttamat happipitoisuuden ja pH:n rajut vaihtelut voivat vaikuttaa negatiivisesti myös rapuihin, kaloihin ja eläinplanktoniin (Hessen ym. 2004). Toisaalta pohjaeläinten on havaittu hyötyvän kasvustoista saalistuksen vähenemisen ja lisääntyneiden piilopaikkojen myötä (Kornijow & Kairesalo 1994). Monet vesilinnut kuten joutsen, haapana ja tavi käyttävät mielellään vesiruttoa ravinnokseen (Väänänen & Nummi 2003). Massaesiintymät vaikeuttavat järvien käyttöä, koska matalien lahtien umpeenkasvu rajoittaa veneilyä ja myös kalastus vaikeutuu. Myös uimarantojen käyttö hankaloituu.

Vesiruton massakasvustoille ovat tyypillisiä sykliset runsaudenvaihtelut, joiden syitä ei tiedetä tarkkaan (esimerkiksi Simpson 1984, Andersson & Willen 1999, Sarvala 2005). Turun Littoistenjärvellä runsaudenvaihteluiden sykliksi on arvioitu 5–6 vuotta (Sarvala 2005). Kannanvaihteluja voi selittää muun muassa fysiologia: vesiruton määrän runsastuessa kasvaa myös kuoleva kasvimassa, jonka hajoaminen kuluttaa happea. Hajotustoiminnan seurauksena ympäristö happamoituu ja vesiruton hiilenotto kyky vähenee, yhteytysteho heikkenee, ja vesiruttokasvu alkaa taantua (Lehtonen 2000). Fosforin saatavuus ja vesistön ravinnetaso vaikuttaa osaltaan massakasvuston pysyvyyteen (Rørslett ym. 1986,

Thiébaud 2005). Massakasvustot voivat jäädä lyhytaikaisiksi (Rørslett ym. 1986), ja joissain vesistöissä niitä ei muodostu lainkaan. Siperiassa on raportoitu vesiruton biomassan kääntyneen yleensä laskuun muutaman vuoden kuluttua invaasiosta (Bazarova & Pronin 2010).



Kuva 2. Vesiruton leviäminen Koillismaalla perustuen lukuisiin eri lähteisiin.



Kuva 3. Koillismaan järvien alttius vesiruton leviämiselle.

2. Vesikasvillisuuden biomassan arviointi järvissä

Juha Riihimäki ja Seppo Hellsten

2.1 Johdanto

Vesiruton hyötykäytön mahdollisuuksien selvittämiseksi arvioitiinkohdejärvien uposkasvillisuuden biomassan määrää. Vesiruton biomassaksi on mitattu aiemmissa tutkimuksissa kuivapainona Taivalkosken Siikalammella 128,3 g/m² (Kuusela 2002) ja Littoistenjärvellä 120,5 g/m² (Mäkinen & Koponen 1997).

2.2 Aineisto ja menetelmät

Uposkasvillisuuden määrää arvioitiin kaikuluotaamalla Torankijärvellä, Elijärvellä, Yli-Kitkalla, Joukamojärvellä ja Kuusamojärvellä 15.–19.8.2016. Torankijärvi ja Elijärvi luodattiin kokonaan. Yli-Kitkalla kohdealueeksi valittiin Lohilahti ja Joukamojärvellä Multiperä, jonka luotausalueella vesiruttoa ja muuta uposkasvillisuutta havaittiin vain erittäin niukasti. Kuusamojärven Talvilahden venesataman alueella menetelmää testattiin vain pienellä alueella. Käyttökelpoista luotausaineistoa saatiin kerättyä Torankijärveltä, Elijärveltä ja Yli-Kitkan Lohilahdelta.

Tutkittavat alueet luodattiin vähintään 40 m linjavälein ja luotausdata tallennettiin karttaplotteri / kaikuluotaimen muistikortille. Muistikortilta aineisto siirrettiin tietokoneelle ja lähetettiin käsiteltäväksi Bio-Base-palveluun, josta tuloksena saatiin tutkitun alueen syvyyskartta, uposkasvien runsautta kuvaava biovolyyimikartta ja pohjan kovuuden kartta.

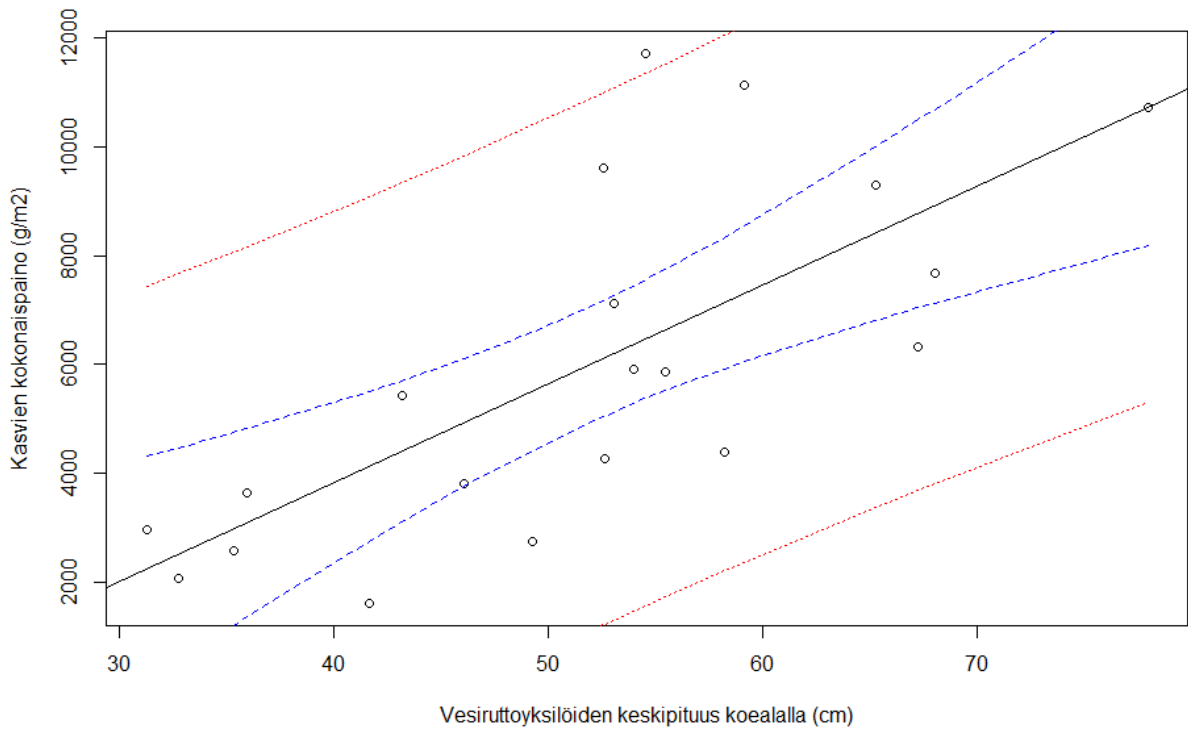
Biovolyyymi % (prosenttinen kasvillisuuden biovolyyymi, BV %) kuvaa kasvillisuuden täyttämää prosenttiosuutta vesipatsaassa kussakin GPS:llä mitatussa sijainnissa.

$$BV (\%) = \text{keskimääräinen kasvuston korkeus} / \text{vedensyvyys} * 100$$

Sijainnin keskimääräinen kasvuston korkeus lasketaan 5–30 kaikupulssin keskiarvona ja kasvillisuudeksi tulkitaan vain pulssit jotka on vähintään 5 % veden syvyydestä. Tästä johtuen pohjanläheinen matala kasvillisuus ei erotu.

Biomassanäytteenotto tehtiin 16.–18.8. 2016 neljältä järveltä (Yli-Kitka, Torankijärvi, Elijärvi ja Kuusamojärvi). Yhteensä 20 koealalta (koeala 1 m²) rannan läheisyydestä kerättiin kaikki pohjanpäällinen vesiruttokasvillisuus ja punnittiin näytteen kokonaispaino. Koealoilta mitattiin myös syvyys (vaihteluväli) ja otoksena noin 20 vesiruttoyksilön pituus/koeala (vaihteluväli) (yhteensä 401 vesiruttoyksilöä). Aineiston perusteella estimoitiin vesiruttokasvuston kokonaispainon riippuvuutta koealan vesiruttoyksilöiden keskipituudesta käyttämällä lineaarista regressioanalyysiä (Kuva 4).

Tuloksesta nähdään että biomassakoealojen kokonaispainon ja kasviyksilöiden keskipituuden riippuvuus on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p = 0,000355$). Myös riippuvuutta kuvaava malli ($y = 181,38x - 3425,9$) on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p = 0,0003548$), mutta selitysaste ei ole kovin hyvä ($R^2 = 0,52$) (kuva 4).

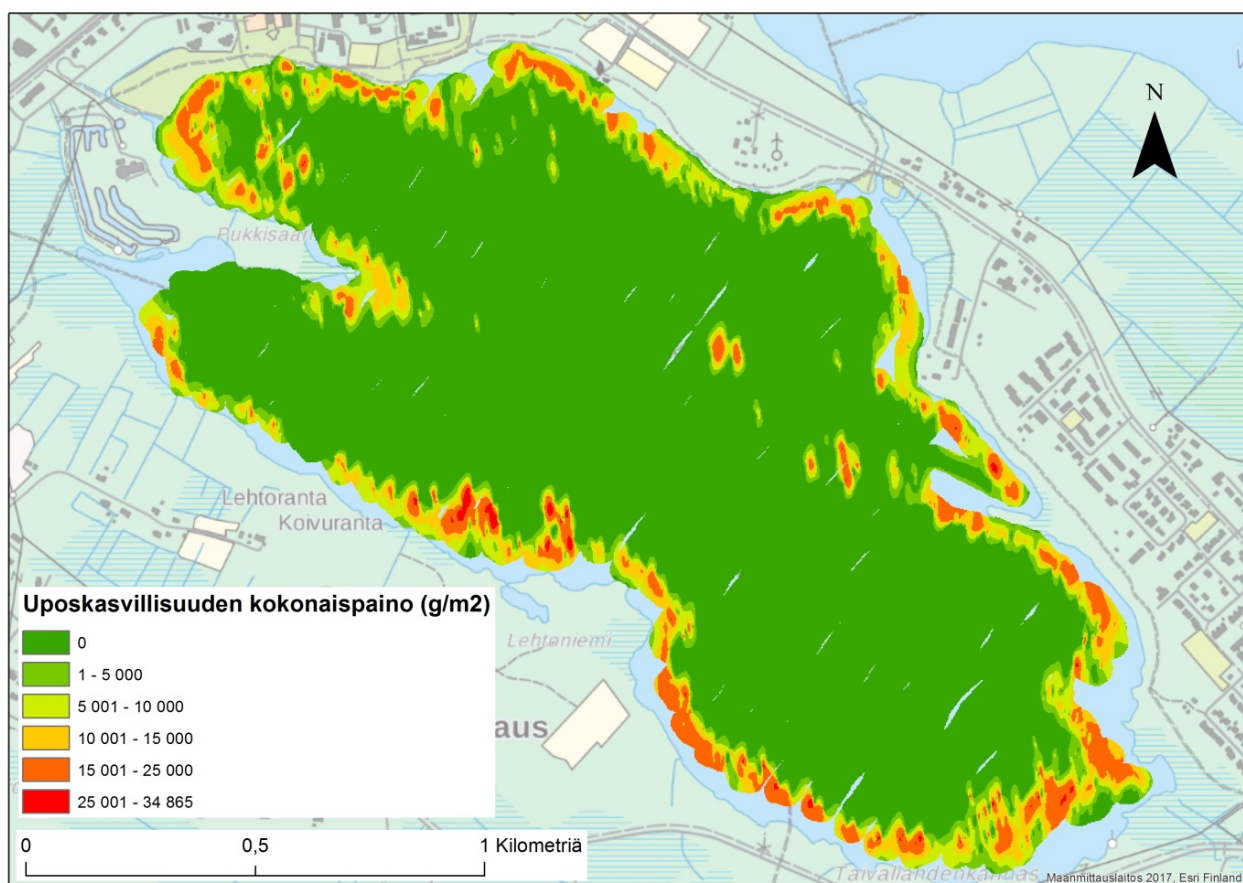


Kuva 4. Biomassakoealan kasvien kokonaispainon ja vesiruttoyksilöiden keskipituuden välinen regressio. Sininen katkoviiva = estimaatin 95 % luottamusväli. Punainen pisteiviiva = ennusteen 95 % luottamusväli.

Kaikuluotauksen tuloksena saatu luotausalueen biovolyyminikartan ja syvyyskartan pistetiedot siirrettiin paikkatieto-ohjelmaan ja muunnettiin rasterimuotoon. Rasterikarttojen avulla laskettiin uusi, uposkasvien pituutta kuvaava kartta (kasvien pituus = $BV\% \times$ syvyys). Tämän jälkeen regressioanalyysin tuloksen saadulla yhtälöllä laskettiin kasvillisuuden kokonaispainoa (per m^2) kuvaava kartta (kokonaispaino = $181,38 \times$ kasvien pituus - $3425,9$). Kokonaispainoa kuvaava rasterikartta muutettiin pistemuotoon ja kokonaispainot kerrottiin pikselin pinta-alalla (pikselin pinta-ala vaihteli tutkimusjärvisä). Yhtälön käytöstä syntyvät negatiiviset kokonaispainot muutettiin nolaksi ennen koko järven kokonaispainojen yhteenlaskua.

2.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Torankijärven pinta-ala on järvirekisterin mukaan 223,56 hehtaaria. Kokonaispainon arvioinnin pinta-ala oli jonkin verran pienempi 203,98 hehtaaria. Erotus johtuu ranta-alueiden ilmaversoisikasvillisuudesta ja matalista rannoista sekä pienistä aukoista kartta-aineistossa (Kuva 5). Luotasta ei tehty ilmaversoisikasvillisuuden alueilla, eikä muilla matalilla alueilla jonne ei moottoriveneellä voitu mennä. Uposkasvillisuuden arvioitu kokonaispaino Torankijärvellä oli 4639,55 tonnia.



Kuva 5. Torankijärven upokasvillisuuden kokonaispainon jakautuminen.

Uposkasvillisuuden kokonaispaino (g/m²)

0
1 - 5 000
5 001 - 10 000
10 001 - 15 000
15 001 - 20 000
20 001 - 29 043

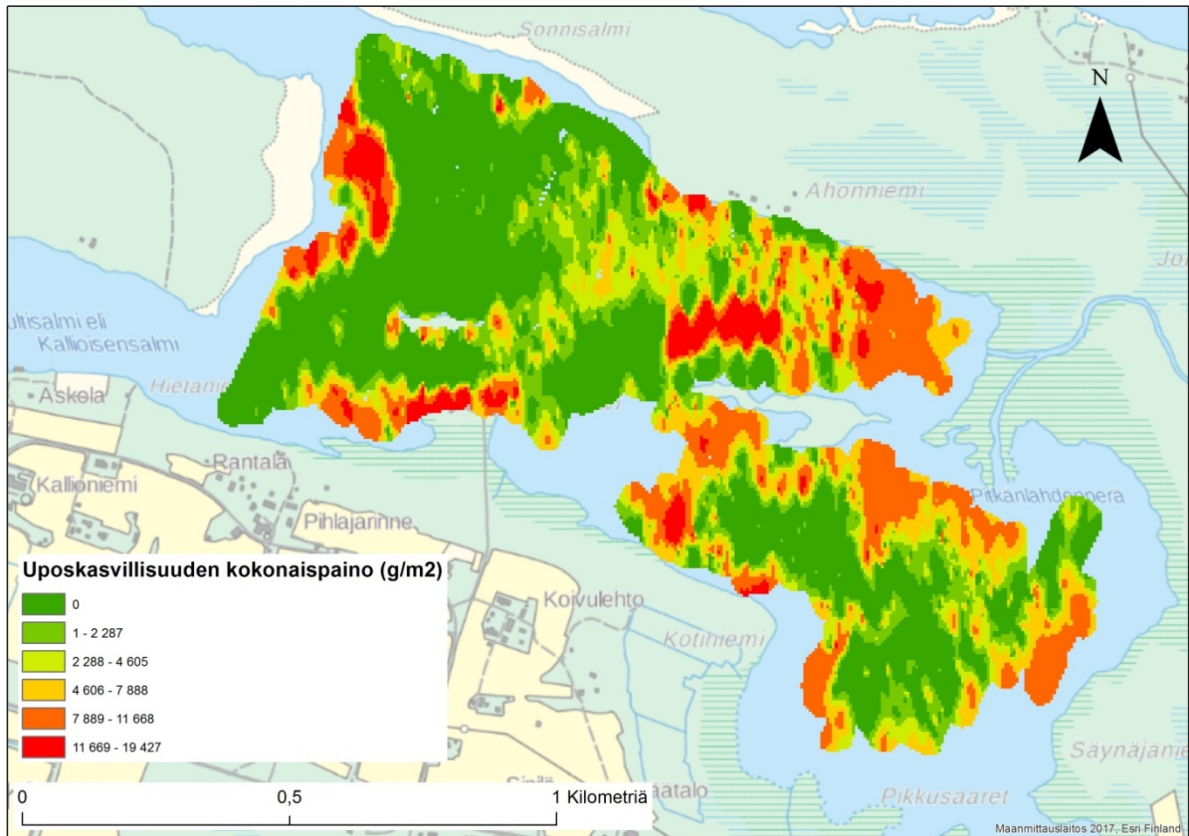
0 0,25 0,5 Kilometriä

Elivaara

Elivääranta

Maanmittauslaitos 2017, Esri/Finland

Yli-Kitkan Lohirannan tutkimusalueen pinta-ala oli kartalta mitattuna noin 128,49 hehtaaria. Aineistos-
sa olevista luotausvirheistä ja rantojen ilmaversoiskasvillisuudesta johtuen kokonaispainon arvioinnin
pinta-ala oli selvästi pienempi 90,85 hehtaaria (Kuva 7). Lohirannan alueella oli paikoitellen myös mel-
ko paljon muuta uposkasvillisuutta kuin vesiruttoa, joten vesiruton kokonaispaino alueella on jonkin
verran pienempi kuin arvioinnissa tulokseksi saatu 3132,40 tonnia.



Kuva 7. Yli-Kitkan Lohirannan tutkimusalueen uposkasvillisuuden kokonaispainon jakautuminen.

2.4 Johtopäätökset

Kokonaispainon arvioinnissa on huomattavasti epävarmuutta, joka johtuu useista seikoista. Kaiku-luotausmenetelmällä ei pystytty erottamaan uposkasvilajeja toisistaan. Elijärven ja Torankijärven tapauk-sessa lähes kaikki havaitut uposkasvit olivat tosin vesiruttoa, mutta Lohirannan alueella myös muita uposkasveja oli runsaasti. Uposkasvillisuuden kokonaispainon arvioissa on kuitenkin oletettu kaiken uposkasvillisuuden olevan vesiruttoa.

Biomassakoealoilla vesiruttojen peittävyys oli aina 100 %. Todellisuudessa luotausaineisto ei anna tie-toa uposkasvillisuuden peittävydestä. Laskennassa luotaamalla mitattu biovolyyymi % on kuitenkin keskiarvo useasta kaikupulssista, joten keskiarvoistaminen kompensoi jonkin verran biomassakoealojen peittävyiden vinoumasta johtuvaa virhettä.

Biomassakoealojen määrä oli melko pieni ja koealat sijoituivat suhteellisen kapealle syvyysvyöhyk-keelle, joten myös aloilta mitattujen kasvien keskimääräisen pituuden vaihteluväli (31–78 cm) jäi pie-nemmäksi kuin luotauksella tutkimusalueilla määritetty kasvien pituus (0–211 cm). Regressioyhtälöä ei pitäisi kuitenkaan käyttää ennustamiseen havaittujen arvojen ulkopuolisella alueella. Tarkemman ja luotettavammin käytettävän kokonaispainoarvion saamiseksi tuleekin biomassakoealoja sijoittaa koko uposkasvillisuuden esiintymisen syvyysvyöhykkeelle ja niiden määrän tulisi olla suurempi kuin 20 (noin 50 koealaa).

3. Vesiruton koostumuksen vaihtelu

Satu Maaria Karjalainen, Mika Sarkkinen ja Seppo Hellsten

3.1 Johdanto

Vesirutto on tehokas keräämään ympäristöstään liukoisia ravinteita ja muita aineita kuten raskasmetalleja (Ozimek ym. 1993, Kurilenko & Osmokolvskaia 2007, Basile ym. 2011). Vesirutto kerää näitä aineita sekä sedimentistä juurillaan (Kuva 8) että vedestä varrellaan ja lehdillään (Agami & Waisel (1986) Ozimek ym. 1993 mukaan). Kähkönen ym. (1997) havaitsivat, että raskasmetallien määrä kanadanvesiruton eri osissa vaihtelee metalleittain. Ravinteiden oton osalta kanadanvesiruton juurien ja version solukkojen on havaittu olevan yhtä tärkeitä rehevöityneessä ympäristössä (Christiansen ym. 2016). Baldy ym. (2015) havaitsivat, että kiehkuravesiruton (*Elodea nuttallii*) version fosforinottokyvyn voimakkuuteen vaikuttaa vesistön fosfaattifosforin taso. Lisäksi he havaitsivat, että kiehkuravesiruton fosforinoton tehokkuus vaihtelee vuodenajoittain ollen suurimmillaan keväällä, jolloin se tukee kasvia versojen kasvattamisessa (Baldy ym. 2015).

Elodea-hankkeessa vesiruton koostumusta haluttiin selvittää erityyppisistä järvistä. Tämän vuoksi tutkimuskohteiksi valittiin järvet, joissa 1) kasvaa runsaasti vesiruttoa, 2) vesirutto on saapunut järveen monta vuotta tai vain muutama vuosi sitten, 3) järven rehevyystaso on syvännepaikalta kerättyjen tietojen perusteella karu tai rehevä ja 4) pohjasedimentissä on tai ei ole lisättyjä ravinteita sitovia kemikaaleja, jotka sisältävät metalleja. Elodea-hankkeen vesiruton näytteenottoajankohdaksi tuli loppukesä, koska alkukesästä kesäkuun puolivälissä Eläjärven ja Kuusamojärven Partasenlahdessa ei vielä havaittu suuria määriä vesiruttoa.

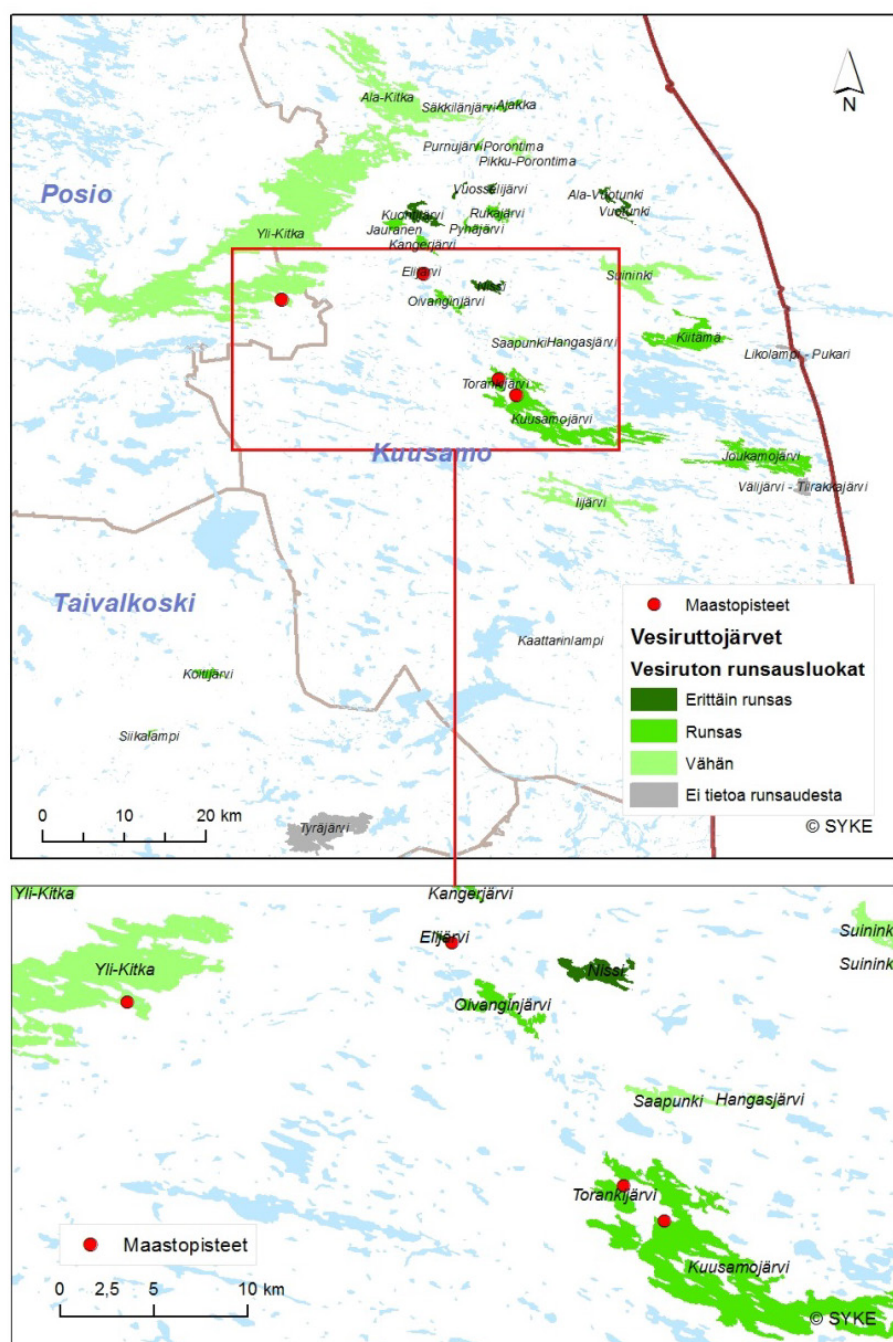


Kuva 8. Vesiruton juuret, verso sekä kukka. Kuvat: Satu Maaria Karjalainen, SYKE.

3.2 Aineisto ja menetelmät

3.2.1 Tutkimuskohteet

Vesiruton koostumusta tutkittiin 16.–18.8.2016 neljällä järvellä: Kuusamojärvellä, Torankijärvellä, Yli-Kitkalla ja Oivangin Elijärvellä (Kuva 9). Tarkemmat paikkatiedot on koottu taulukkoon 1. Tutkimuskohteiksi valittiin järviä, joista osassa kanadanvesiruton massakasvustoa on esiintynyt lyhyemmän ajan ja osassa pidemmän ajan. Valituissa järvissä vesiruttoa on havaittu ensimmäisen kerran vuosien 2009–2014 välisenä aikana (ks. Kuva 2). Lisäksi tutkimuskohteiksi valittiin järviä, joiden ravinnetasot ovat erilaisia (Taulukko 3).



Kuva 9. Järvalueet, joista otettiin vesiruttonäytteitä.

Taulukko 1. Näytteenottoaikojen sijainnit tutkimusjärvisä ja järvien keskimääräistä ravinnetasoa kuvaava fysiikka-kemiallinen tila.

Järvi	Paikka	Koordinaatit	Järven fysikaalis-kemiallinen tila*
Kuusamojärvi	Talvilahti, venesatama	lat: 65° 56.37' lon: 29° 15.42'	Hyvä
Torankijärvi	luusua	lat: 65° 57.43' lon: 29° 12.62'	Välttävä
Yli-Kitka	Lohiranta, Välikari	lat: 66° 03.13' lon: 28° 37.95'	Erinomainen
Elijärvi (Oivanki)	lintutornin rannassa	lat: 66° 01.66' lon: 29° 03.95'	Hyvä

*Tieto järvien vesienhoidon toisen suunnittelukauden fysikaalis-kemiallisesta luokittelusta, joka perustuu pääsääntöisesti näytestä, jotka ovat järven syvyyden kohdalla ja/tai muilla ulappapaikoilla.

3.2.2 Näytteenotto vesiruton biomassan laadun arviointia varten

Järvien vesiruton biomassatutkimukset tehtiin kaikilla neljällä tutkimusjärvellä. Kullakin tutkimusjärvellä vesiruton näytteet kerättiin viideltä näytealalta, jonka pinta-ala oli 1 m². Näytealojen sijaintisyvyys vaihteli 70–110 cm välillä. Näytealalta vesirutto kerättiin hansikoiduin käsin juurineen irti pohjasta (Kuva 10). Metallit kertyvät eri tavoin vesiruton eri osiin (Kähkönen ym. 1997), joten näytteeksi otettiin koko verso juurineen. Vesiruton biomassaa kerättiin pestyihin 40 litran saaveihin, joista biomassa pussitettiin puhtaisiin ilmatiiviisiin pusseihin käsineet käsissä näytteen saastumisen välttämiseksi (Kuva 10). Näytepusseja säilytettiin kylmässä (+4 °C) ennen biomassamääritysten aloittamista.



Kuva 10. Vesiruton keräystä näytealalta Kuusamojärven Talvilahdella sekä näytteen pussitusta. Kuvat: Satu Maaria Karjalainen, SYKE.

Näytealoilta kerätty biomassa sekä siitä säilytyksen aikana näytepusseissa erottunut vesi punnittiin kokonaisuudessaan kokonaisbiomassan määrittämiseksi. Tämän jälkeen näytealan biomassa sekoitettiin ja ositettiin kuivapainon määrittystä varten. Kultakin näytealalta otettiin kolme osanäytettä, joista jokainen painoi märkänä noin 400 g. Elijärven biomassa kultakin näytealalta kuivattiin poikkeuksellisesti kokonaan, koska näytealan biomassan määrä oli muita järviä vähäisempi.

Osanäytteet levitettiin laakealle alustalle (Kuva 11) ja laitettiin lämpökaappiin kuivumaan noin 80 °C:een. Kuivausaika oli 2–3 vuorokautta. Kuivauksen jälkeen osanäytteet punnittiin ja laskettiin punnintuloksesta kuivapaino. Kuivapaino laskettiin kokonaisbiomassasta, joten siinä huomioitiin myös kas-

vimateriaalista erottunut vesi. Punnituksen jälkeen kuivattu kasvimassa hienonnettiin hansikoiduin käsin. Hienonnettua biomassaa punnittiin upokkaaseen noin 2 g (jokainen osanäyte erikseen). Upokasta näytteineen hehkutettiin hehkutusuunissa 550 °C:ssa 2 tuntia. Näytteen annettiin jäähtyä, jonka jälkeen se punnittiin. Punnitustuloksesta laskettiin hehkutusjäännös ja hehkutushäviö.



Kuva 11. Vesiruton biomassaa lämpökaapissa kuivaamisen jälkeen, murskattuna punnitusta ja hehkutusta varten.
Kuva: Satu Maaria Karjalainen, SYKE

3.2.3 Vesiruton koostumuksen määrittäminen

Vesiruton koostumusta selvitettiin Kuusamojärveltä, Torankijärveltä ja Yli-Kitkalta. Tutkimusjärvien näytteenottoalueelta otettiin raskasmetallimäärittäystä varten biomassaa noin 400 g pakastepussiin, jota säilytettiin kylmässä kuljetusauton tavaratilassa (ulkoilman lämpötila 10,9–12,2 °C) kunnes se pakastettiin määrittäystä varten -20 °C:een illalla. Ennen määrittäystä näytteen annettiin sulaa, jonka jälkeen kasvimateriaalista otettiin neljä rinnakkaisnäytettä/pussi. Kasvimateriaali kuivattiin kylmäkuivurissa (Christ Alpha 1-4 LDplus). Kuivauksen jälkeen näyte märkäpoltettiin typpihapolla mikroaaltouunissa. Metallit (rauta, alumiini, barium, kromi, mangaani, strontium, vanadiini, sinkki, arseeni, kadmium, koboltti, kupari, nikkeli, lyijy, seleeni, rubidium) määritettiin SYKEN laboratoriossa ICP-MS - tai ICP-OES -laitteistoilla. Ravinteista fosfori, typpi, rikki ja hiili, alkalimetalleista natrium ja kalium ja maa-alkalimetalleista magnesium määritettiin biomassasta Ahma-ympäristö Oy:n laboratoriossa (Liite 1).

3.2.4 Pohjasedimentin laatu

Kultakin tutkimusjärveltä otettiin metallimäärittelyä varten myös yksi pohjasedimenttinäyte pakastepussiin, joka säilytettiin kylmässä kuljetusauton tavaratilassa (ulkoilman lämpötila 10,9–12,2 °C) kunnes se pakastettiin määrittelyä varten -20 °C:een illalla. Näyte sulatettiin ennen määrittelysten aloittamista. Sulaneesta sedimentistä otettiin kolme rinnakkaisnäytettä/pussi. Sedimenttinäytteet kuivattiin kylmäkuivurissa (Christ Alpha 1-4 LDplus), jonka jälkeen ne märkäpoltettiin typpihapolla mikroaaltouunissa. Metallit (Taulukko 6) määritettiin SYKEN laboratorioissa ICP-MS - tai ICP-OES -laitteistoilla.

3.2.5 Näytteenottoaikan vedenlaatu sekä vesiruttomassasta poistunut vesi

Näytteenottoaikalta otettiin kasvinäytteenoton yhteydessä pintavedestä vesinäyte, josta määritettiin veden väri, alkaliniteetti, sähkönjohtavuus, pH, ravinteet ja metalleja (Taulukko 3). Vesinäytteitä ei suodatettu ennen analysointia.

Vesiruton biomassasta poistunut vesi on kasvinäytteiden keräämisen yhteydessä järvestä kasvin mukana tullutta vettä sekä säilytyksen aikana kasvisolukoista poistunutta vettä. Vesirutosta poistuneen vesimäärän mittausta varten maastossa tehty näytteenotto ja käsittely on kuvattu luvussa 7.2. Nämä vesinäytteet analysoitiin normaalien vesinäytteiden tapaan, eikä näytteitä suodatettu. Näytteet analysoitiin SYKEN laboratorioissa.

3.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Vesiruton keskimääräinen kokonaisbiomassa vaihteli tutkimuskohteilla 2,6–9,4 kg/m² välillä olleen selkeästi suurin Torankijärvellä (Taulukko 2). Vesiruton kuivapainon perusteella Torankijärven ja Yli-Kitkan näytealat eivät kuitenkaan erottuneet toisistaan (Taulukko 2), mutta ne erottuivat selkeästi Kuusamojärvestä ja Elijärvestä, joiden biomassan kuivapainot vastasivat Kuusamojärven Partasenlahdella vuosina 2011–2014 tehtyjen tutkimusten tuloksia (0,1–0,4 kg/m², Anna Väisänen suullinen tiedonanto). Kuiva-aineen osuus vaihteli kuitenkin vain vähän (6,8–9,0 %). Hehkutusjäännös eli epäorgaanisen aineksen osuus vesirutossa oli suurin Elijärvessä ja Torankijärvessä, joihin oli aiemmin lisätty fosforia saostavia metalleja (Väisänen 2009).

Taulukko 2. Näyteruudulta kootun vesiruton kokonaisbiomassa ja ominaisuudet. Kokonaisbiomassa sisältää sekä kasvi- että eläinbiomassan ja siitä poistuneen veden painon. Hehkutusjäännös kuvaa biomassan sisältämää epäorgaanisen aineksen osuutta kokonaisbiomassasta. Hehkutushäviö kuvaa vastaavasti orgaanisen aineksen osuutta.

	Yli-Kitka	Kuusamojärvi	Torankijärvi	Elijärvi
Kokonaismassa (kg/m ²)	7,5	4,3	9,4	2,6
Kuivapaino (kg/m ²)	0,7	0,3	0,7	0,2
Kuiva-aine (%)	9,0	7,7	7,8	6,8
Hehkutusjäännös (%)	76	62	82	81
Hehkutushäviö (%)	24	38	18	19

Kaikissa tutkituissa järvissä näytepaikkojen veden väri oli humuksinen (Taulukko 3). Veden väri Yli-Kitkan Lohirannan Välikarilla ja Elijärvessä oli lähellä jopa runsashumuksisen järven raja-arvoa 90 Pt mg/l.

Tutkittujen järviolueiden vedenlaadut poikkesivat jonkin verran toisistaan. Kuusamojärven Talvilahdella ja Yli-Kitkan Lohirannan Välikarilla veden kokonaistyyppipitoisuudet olivat korkeimmat. Eljärvellä ja Torankijärvellä kokonaisfosforipitoisuudet olivat korkeimmat (Taulukko 3). Kuitenkin epäorgaanisen typen korkeimmat pitoisuudet olivat Torankijärven vedessä, jota kuormittaa Kuusamon jätevedenpuhdistamo. Torankijärvessä oli myös muita selkeästi korkeammat rikin ja mangaanin pitoisuudet (Taulukko 3).

Pohjasedimentin metallipitoisuus vaihteli tutkimusjärvisä (Taulukko 4). Yli-Kitkan Lohirannan Välikarilla sedimentissä oli selkeästi enemmän sinkkiä kuin muissa tutkituissa järvisä. Torankijärvessä oli selkeästi muita tutkimusjärviä enemmän mangaania ja bariumia.

Vesiruttokasveista poistunut vesi oli tutkittujen aineiden osalta aina järven vettä väkevämpää (Taulukko 5). Ne mitatut aineet, joissa oli huomattavaa eroa järviveteen verrattuna, on esitetty järiveden tulosten vieressä suluissa taulukossa 3. Näitä olivat ravinteet, alumiini, rauta ja mangaani.

Vaihtelua esiintyi eri tutkimusjärvien vesiruton biomassasta poistuneissa vesissä. Koska näytemäärä oli kuitenkin vain yksi jokaisesta tutkitusta järvestä, niin tulokset ovat vain suuntaa antavia, eikä eroa voi luotettavasti arvioida. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että pohjasedimentin ainepitoisuus ja vesiruton kuiva-aineen sisältämät ainemäärät neliöllä korreloivat ($r_s=0,679$; $p=0,002$; $n=18$). Pohjasedimentin ainepitoisuus korreloi myös vesirutosta poistuneen veden ainepitoisuuksien kanssa ($r_s=0,893$; $p<0,0001$; $n=18$). Myös järven vedenlaatu korreloi vesirutosta poistuneen veden kanssa ($r_s=0,897$; $p<0,0001$; $n=36$), vaikka niiden pitoisuudet olivatkin eri tasoilla.

Vesiruton kuiva-aineesta mitattujen mineraalien pitoisuudet vaihtelivat jonkin verran eri järvien välillä (taulukko 6). Yli-Kitkan vesiruton kuiva-aineessa oli sinkkiä kolme kertaa enemmän kuin muilla järvilä. Kuusamojärven vesirutossa alumiinia oli muita järviä enemmän (taulukko 6). Torankijärven vesirutossa oli fosforia, typpeä, natriumia, bariumia ja mangaania muita järviä selvästi enemmän. Torankijärven vesiruton mangaanipitoisuus kuiva-aineessa oli myös lähes kuusinkertainen Pietarin alueen lampien tulosten korkeimpaan arvoon verrattuna (Kurilenko & Osmolovskaya 2007). Torankijärven vesiruton poikkeava tummempi ulkonäkö (kuva 12) saattoikin aiheutua sen sisältämästä suuresta mangaanimäärästä (taulukko 6). Muissa tutkimusjärvisä mangaanipitoisuus vesirutossa oli Pietarin vesiruton pitoisuuksien tasoa. Kuitenkin vesirutosta poistuneessa vedessä ei Torankijärven mangaanipitoisuus poikennut Yli-Kitkan pitoisuudesta (taulukko 5). Torankijärvessä vesiruton pintaan oli kiinnittyneinä saostumia, jotka irtosivat vasta vesiruttoa sormin hierottaessa. Mahdollisesti nämä saostumat olivat mangaania. Lisäksi mangaania on voinut kertyä vesiruton solukoiden rakenteisiin, jolloin ne eivät ole lähteneet liikkeelle vesirutosta poistuneen veden myötä. Myös kaliumpitoisuudet olivat Koillismaan tutkimusjärvisä korkeammat kuin Pietarin kuormittuneissa lammissa (taulukko 6). Vesiruton kuiva-aineen alkuainepitoisuuksien ei havaittu korreloivan pohjasedimentin tai järven vedenlaadun kanssa.

Vesiruton kuiva-aineen sisältämä ainemäärät olivat selkeästi suuremmat kuin vesirutosta poistuneessa vedessä. Tutkimusjärvilä neliömetrin alalla vesiruton fosforimäärä muodostuikin lähes täysin kuiva-aineen sisältämästä fosforista ($0,7\text{--}3,5\text{ g/m}^2$) (Liite 2). Typen määrä vesiruton kuiva-aineessa tutkimusjärvisä oli $6,3\text{--}28\text{ g/m}^2$. Suurimmat ravinnemäärät olivat rehevässä Torankijärvessä, koska siellä oli myös runsain kasvusto. Kuusamojärven veden fosforipitoisuus oli samaa tasoa kuin Yli-Kitkalla. Tästä huolimatta Yli-Kitkalla vesiruton fosforimäärä neliötä kohti oli suurempi kuin Kuusamojärvilä Yli-Kitkan rehevämmän kasvuston vuoksi. Typen osalta ero oli vielä suurempi Yli-Kitkan ja Kuusamojärven välillä. Kuusamojärven veden tyyppipitoisuus oli lähes kaksinkertainen Yli-Kitkaan verrattuna, mutta Yli-Kitkan vesiruton kuiva-aineessa oli typpeä kuitenkin kolmannes enemmän. Siten myös Yli-Kitkan runsaammassa vesiruttokasvustossa oli neliömetrillä typpeä lähes 40 % enemmän. Tässä tutki-

mukssessa näytemäärä oli pieni, mutta todennäköistä on, että järviveden ravinnepitoisuuden perusteella on vaikea arvioida vesirutossa olevaa ravinnemäärää. Vesiruttomassan määrän merkitys on suurempi kuin kuiva-aineen pitoisuuden merkitys tarkasteltaessa neliometriä kohden kertyviä ainemääriä. Tulokset kuvaavat osaltaan myös Yli-Kitkan Lohirannan Välikarin alueen veden rehevyyttä. Lohirannan alueen kallioperän kalkkivaikutus oli myös havaittavissa vesirutossa: kalsiumia ja magnesiumia oli vesiruton kuiva-aineessa eniten Yli-Kitkan Lohirannan tutkimuspaikalla kalkkikivialueella (11 g Ca/m² ja 1,9 g Mg/m²) ja Torankijärvellä (12 g Ca/m² ja 2,5 g Mg/m²). Kuusamojärvessä niitä oli selvästi vähemmän (4,5 g Ca/m² ja 0,8 g/m²). Myös kaliumia oli Yli-Kitkan ja Torankijärven vesiruttoruuduilla enemmän (26 g K/m² ja 23 g K/m²) kuin Kuusamojärvellä 10 g K/m² runsaan kasvuston takia.

Taulukko 3. Vedenlaatu tutkimusjärvien näytepaikoilla. Suluissa on vesiruttomassasta poistuneen veden pitoisuudet.

	Yli-Kitka	Kuusamojärvi	Torankijärvi	Elijärvi
Alkaliniteetti (mmol/l)	0,347	0,416	1,07	0,350
pH	7,2	7,5	7,9	7,2
Sähkönjohtavuus (mS/m)	4,4	5,5	21,0	4,7
Väri (mg Pt/l)	80	35	35	80
Kokonaisfosfori (µg/l)	19 (600)	15 (630)	39 (870)	80
Fosfaattifosfori PO ₄ -P (µg/l)	<2	<2	5	12
Kokonaistyyppi (µg/l)	530 (3000)	910 (5300)	360 (6200)	410
Ammoniumtyppi NH ₄ -N (µg/l)	3	2	28	3
Nitriitti-Nitraattityppi NO ₂ +NO ₃ -N (µg/l)	<5	<5	140	<5
Alumiini (µg/l)	23 (1300)	12 (1200)	18 (1100)	60
Barium (µg/l)	10	14	60	7,2
Kalium (mg/l)	0,7	1,1	5,9	0,7
Kalsium (mg/l)	5,5	6,5	13,5	5,7
Magnesium (mg/l)	1,8	1,9	3,5	2,0
Mangaani (µg/l)	18 (470)	47 (1500)	880 (1400)	15
Natrium (mg/l)	1,2	1,9	21,1	1,2
Rauta (µg/l)	730 (5900)	170 (3500)	440 (6400)	540
Rikki (µg/l)	700	700	2600	940
Sinkki (µg/l)	<2	<2	<2	2
Strontium (µg/l)	13	17	31	15
Titaani (µg/l)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

Taulukko 4. Järvien näytepaikkojen (n=1) pohjasedimentin mineraalipitoisuudet.

	Yli-Kitka	Kuusamojärvi	Torankijärvi
Alumiini (mg/kg)	6033	8000	7267
Arseeni (mg/kg)	0,87	0,82	0,44
Barium (mg/kg)	44	67	193
Kadmium (mg/kg)	0,147	0,057	0,053
Koboltti (mg/kg)	5,3	7,3	6,5
Kromi (mg/kg)	27	35	31
Kupari (mg/kg)	14	21	14
Lyijy (mg/kg)	9,1	3,1	2,8
Mangaani (mg/kg)	197	493	4000
Nikkeli (mg/kg)	12	20	15
Rauta (mg/kg)	9167	13333	17333
Rubidium (mg/kg)	10	12	12
Seleen (mg/kg)	<1,0	<1,0	<1,0
Sinkki (mg/kg)	103	20	29
Strontium (mg/kg)	11	10	14
Vanadiini (mg/kg)	24	28	21

Taulukko 5. Vesiruton biomassasta poistuneen veden metalli- ja ravinnepitoisuudet (n=1).

	Yksikkö	Yli-Kitka	Kuusamojärvi	Torankijärvi
Kokonaisfosfori	µg/l	600	630	870
Kokonaistyyppi	µg/l	3000	5300	6200
Alumiini	µg/l	1300	1200	1100
Arseeni	µg/l	0,50	0,58	0,48
Barium	µg/l	72	99	170
Kadmium	µg/l	0,110	0,053	0,035
Kalium	mg/l	2,4	4,1	8,3
Kalsium	mg/l	10,2	8,8	20,8
Koboltti	µg/l	1,3	2,0	1,8
Kromi	µg/l	3,1	3,8	4,0
Kupari	µg/l	8,6	17	11
Lyijy	µg/l	5,8	1,9	1,2
Magnesium	mg/l	2,7	3,1	4,7
Mangaani	µg/l	470	1500	1400
Natrium	mg/l	1,6	2,7	22,6
Nikkeli	µg/l	2,4	4,0	4,1
Rauta	µg/l	5900	3500	6400
Rikki	µg/l	1100	1600	2900
Seleeni	µg/l	<0,1	<0,1	0,1
Sinkki	µg/l	130	25	24
Strontium	µg/l	22	22	44
Titaani	µg/l	45	45	51
Uraani	µg/l	0,720	0,380	0,130
Vanadiini	µg/l	9,1	6,1	4,7

Taulukko 6. Vesiruton kuiva-aineen sisältämät mineraalipitoisuudet (mg/kg) (n=4 Koillismaan järvissä).

	Yli-Kitka	Kuusamojärvi	Torankijärvi	Pietarin kuormittuneet lammet *
Alumiini	212,5	620	80	
Arseeni	0,1725	0,24	0,3225	
Barium	170	182,5	2050	
Fosfori	2940	2080	4810	4200–6800
Hiili	406000	407000	391000	
Kadmium	0,0425	0,05	0,02	0,3–0,5
Kalium	39300	31600	31300	19500–23500
Koboltti	0,885	0,8275	1,075	
Kromi	1,9	2,85	0,4	3,4–12,0
Kupari	2,3	3,225	4,275	9–29
Lyijy	0,32	0,3	0,04	1,3–27,4
Magnesium	2810	2540	3370	
Mangaani	1600	1025	29000	1170–4930
Natrium	2210	3080	5960	5400–8700
Nikkeli	1,175	1,55	1,775	4,4–6,3
Rauta	2700	2275	2100	421–8800
Rikki	2760	2290	2650	19400–32400
Rubidium	2,725	2,725	5,3	
Seleeni	<0,3	<0,3	<0,3	
Sinkki	39,25	12,5	12,25	14–61
Strontium	53	55,25	71,75	
Typpi	25400	19000	38400	
Vanadiini	1,625	2,55	0,6425	

* Kurilenko & Osmolovskaya (2007)

3.4 Vesiruttomassaan sitoutuneet ainemäärät

Vesirutto on tehokas mobilisoimaan fosforia sedimentistä ja menestyy siten myös hyvin suhteellisen karuissa Koillismaiden järvissä. Vesiruttoon sitoutuneen fosforin merkitys voi olla suuri koko järven tilan kannalta kuten esimerkiksi Littoisenjärvellä on todettu (Sarvala 2005). Esimerkiksi Eläjärvellä vesiruton tuorepaino on biomassakartoituksen ja mittausten (ks. kappale 2.3) mukaan arvioituna noin 1624 tonnia ja kuivapaino noin 110 tonnia. Käytettäessä Yli-Kitkalla määritettyjä verson fosforipitoisuuksia (ks. kappale 3.3) Eläjärven vesiruttobiomassaan on siten sitoutunut fosforia 325 kg ja siitä poistuneeseen veteen noin 0,92 kg. Kokonaisfosforin pitoisuus oli Eläjärven pintavedessä 80 ug/l, jolloin vesimassan (0,53 milj. m³) sisältämä fosforimäärä oli vain 42 kg. VEMALA-vesistömallin perusteella vuosittain järveen tulee fosforia 16,57 kg ja lähtee 14,86 kg. Vesiruttoon on siten sitoutunut liki kymmenkertainen määrä fosforia vesimassaan verrattuna, ja määrä on jopa kaksikymmenkertainen laskennalliseen ulkoiseen kuormitukseen verrattuna. Tarkastelu sisältää kuitenkin paljon epävarmuuksia ja Eläjärvellä on voimakkaasti sisäkuormittainen järvi. Vesiruton sisältämä ravinnemäärä on kuitenkin erittäin merkittävä ja sen poistaminen edistää järven tilan paranemista.

3.5 Johtopäätökset

Tutkitut järvet poikkesivat vedenlaadultaan jonkin verran toisistaan. Vesiruton keskimääräinen kokonaismassa vaihteli tutkimuskohteilla selkeästi ollen runsainta Torankijärvellä. Toiseksi runsain kasvusto oli Yli-Kitkan Lohirannan Välikarin rannassa. Kuusamojärven Talvilahdella ja Eläjärvellä vesiruttobiomassan kuivapainot olivat selvästi pienempiä.

Järviin fosforia sitomaan lisätyt metallit näkyivät vesiruton suurena epäorgaanisen aineksen osuutena. Tämä näkyi myös Torankijärven vesiruton muista selkeästi poikkeavana tummempana ulkonäköinä. Se saattoi aiheutua mangaanista, jota oli Torankijärvellä huomattavasti enemmän vesiruton kuiva-aineessa, järvivedessä ja pohjasedimentissä kuin muissa tutkimusjärvissä. Kuitenkaan Torankijärven vesirutosta poistuneessa vedessä ei mangaanipitoisuus eronnut Yli-Kitkan vastaavasta pitoisuudesta, joten todennäköisesti mangaani kertyi vesirutossa sen rakenteisiin tai saostui kasvin pinnalle.

Vesiruttokasveista poistuneessa vedessä ainepitoisuudet olivat järvien vettä väkevämpiä: suurimmat erot olivat ravinne-, alumiini-, rauta- ja mangaanipitoisuuksissa. Useimpien alkuaineiden pitoisuuksissa ei ollut eroa eri tutkimusjärvien välillä, mutta Torankijärven vesirutosta poistuneessa vedessä mineraalipitoisuus poikkesi muista järvistä erityisesti mangaanin, bariumin, fosforin, typen ja natriumin osalta. Vastaavasti Yli-Kitkan vesirutosta poistuneessa vedessä sinkkipitoisuus ja Kuusamojärvellä alumiinipitoisuus olivat muita tutkimusjärvien korkeampia. Vastaavat erot näkyivät tutkimusjärvien vesiruton kuiva-aineen alkuainepitoisuuksina. Vesiruton kuiva-aineen sisältämä ainemäärät olivat kuitenkin selkeästi suuremmat kuin vesirutosta poistuneessa vedessä: esimerkiksi vesiruttobiomassan fosforimäärä muodostuikin lähes täysin kuiva-aineen sisältämästä fosforista. Suurimmat ravinnemäärät pinta-alaa kohti olivatkin rehevässä Torankijärvessä, jossa oli runsain vesiruttokasvusto. Myös Yli-Kitkan Lohirannan Välikarin runsas vesiruttokasvusto vaikutti suurempaan fosforimäärään pinta-alaa kohti kuin Kuusamojärvellä, vaikka niiden järvien veden fosforipitoisuudet olivatkin samoja.

Tässä tutkimuksessa näytemäärä oli pieni ja näytteet otettiin vain yhtenä ajankohtana, joten saadut tulokset ovat vain suuntaa antavia. Todennäköistä kuitenkin on, että järviveden ravinnepitoisuuden perusteella on vaikea arvioida vesiruton biomassassa olevaa ravinnemäärää. Sen sijaan vesiruttokasvuston runsaudella on merkitystä, paljonko eri aineita voidaan poistaa järvestä samalla kun poistetaan vesiruttoa. Vesiruttobiomassaan sitoutuneen fosforin määrä on kuitenkin suuri ja otettava huomioon ravinnekuormitusta vähennettäessä.

OSA II Vesiruton hyötykäyttömahdollisuudet



Vesiruton biokaasututkimuksissa käytettyjä reaktoreita. Kuva: Satu Maaria Karjalainen, SYKE

4. Vesiruton mahdollisuudet biokaasutuksessa

Markku Pelkonen, Teemu Ulvi ja Tero Väisänen

4.1 Tausta ja tavoitteet

Vesirutto lisääntyy kasvullisesti, eli pieni pala kasvia riittää uuden kasvuston muodostumiseen. Koillismaalla vesiruton leviäminen on ollut varsin nopeaa ja kasvustojen poistamista onkin suunniteltu useaan kohteeseen järven virkistyskäyttömahdollisuuksien palauttamiseksi. Vesiruton poistamista on kehitetty Suomessa vain muutamista järvistä, ja tutkimustietoa on vain vähän. Suomessa vesiruttoa on poistettu tiettävästi raivausnuotalla ja keräävällä niittokoneella. Vesiruton poistamisen tuloksena syntyy hyvin vesipitoista kasvimassaa, jonka käsittelyä ja mahdollista hyödyntämistä on syytä selvittää järven kunnostamisen taloudellisten edellytysten parantamiseksi.

Tässä osatehtävässä haluttiin selvittää vesiruton soveltuvuutta biokaasutuotantoon sekä mädätejäännöksen soveltuvuutta hyödynnettäväksi muun muassa kasviravinteena. Vesiruton biokaasutuksesta testireaktoreissa sovittiin osana hanketta Jahotec Oy:n kanssa. Markku Pelkonen suunnitteli koejärjestelyn ja toteutti testit yhdessä Asko Aholan kanssa elo-lokakuussa 2016 Jahotec Oy:n tiloissa Limingassa. Tässä luvussa 4 kuvataan näiden mädätystestien suorittaminen, tulokset sekä esitetään johtopäätökset. Lisäksi arvioidaan tarve jatkoselvityksille ennen vesiruton biokaasutuksen liiketaloudellista hyödyntämistä.

Biokaasutuksessa käytettävästä biomassasta käytetään erilaisia nimityksiä biokaasutuksen eri vaiheissa. Reaktoriin syötettävä biomassa on syötemateriaalia, biokaasutuksen aikana reaktorissa oleva biomassa on reaktorilietettä tai mädätemassaa. Reaktorista prosessin lopuksi poistettava biomassa on rejektiä tai mädätejäännöstä.

Tutkimuksen tavoitteet:

- rakentaa soveltuva koelaitteisto kolmesta eri järvestä noudettavia syötemateriaaleja (vesirutto) varten
- määrittää eri syötemateriaalien hajoamisen ominaispiirteet ja niiden tuottaman biokaasun määrä ja laatu
- tuottaa jatkotutkimuksiin soveltuvaa mädätejäännöstä riittävän suuria määriä (10–20 litraa) siten, että ympin osuus mädätejäännöksestä ei dominoi lopputuotetta
- arvioida tulosten perusteella vesiruton käyttömahdollisuuksia biokaasutuksessa.

4.2 Aineisto ja menetelmät

4.2.1 Syötemateriaalit

Tutkimusta varten kerättiin biomassanäytteet elokuussa 2016 (viikolla 33) Yli-Kitkalta, Kuusamojärvestä sekä Torankijärvestä. Näytteet pakattiin säkkeihin, säkit teipattiin kiinni ja laitettiin kannellisiin säveihin. Näytepusseissa oli myös runsaanlaisesti kasvin keräämisen yhteydessä tullutta tai kasveista irronnutta vettä (Kuva 12). Biomassaa säilytettiin näytteenoton ja Ouluun kuljetuksen jälkeen SYKEN Oulun toimipaikan laboratorion pimeässä kylmähuoneessa (noin + 4 °C).



Kuva 12. Vesiruton biomassaa avatuissa näyteastioissa ja säkeissä elokuussa 2016. Oikealla näkyvä Torankijärven biomassa erottui väriltään tummempana Yli-Kitkan ja Kuusamojärven biomassoista. Kuva: Markku Pelkonen, Jahotec Oy.

Viikon 34 alussa elokuussa 2016 Jahotec Oy otti koe-erät kunkin järven biomassanäytteistä ja määrittä kuiva-aine- ja tuhkapitoisuudet. Materiaalia koe-eriin otettiin saavin pintakerroksesta, jossa ei ollut irtovettä. Biomassan kuiva-ainepitoisuus oli kaikissa järvissä noin 10 %. Sen sijaan tuhkapitoisuudet olivat hyvinkin erilaisia eri järvissä: Yli-Kitkalla 14 %, Kuusamojärvellä 17 % ja Torankijärvellä 26 % biomassan kuiva-aineesta.

Biomassaa murskattiin koneellisesti leikkuriterällä varustetulla murskaimella (Philips, teho 650 W). Massan partikkelikoko murskauksen jälkeen oli kokoluokassa 3–8 mm (kuva 13). Käsitellystä massasta erotettiin ajoittain näytteeksi keskimäärin noin 100 g suuruinen erä (50–200 g) myöhempää analysointia varten. Nämä osanäytteet säilytettiin suljetussa muovipussissa jääkaapissa (+4 °C).



Kuva 13. Murskattua vesiruton biomassaa valmiina biokaasutukseen. Kuva: Markku Pelkonen, Jahotec Oy.

Tulevia biokaasutuksen syötemateriaaleja, eli kustakin järvestä otettua ja käsiteltyä biomassaa säilytettiin pääsääntöisesti Jahotec Oy:n biokaasulaitoksella alle +8 °C:n lämpötilassa jääkaapissa erillisissä astioissa.

Reaktoreiden käynnistämiseen käytettiin ymppiä. Ymppi oli otettu Limingan biokaasulaitoksen suuresta reaktorista, laimennettu vesijohtovedellä suhteessa 2 osaa lietettä + 1 osa vettä sekä varastoitu + 30 °C lämpötilassa 10 vuorokautta ennen reaktoreiden käynnistämistä. Biokaasulaitoksen reaktorin syötemateriaaleina ovat kunnallinen jätevesiliete (pääosa) sekä esikäsitelty elintarviketeollisuuden jättemateriaali/sivutuotteet, rasvanerotuksen ja umpikaivojen lietteet, lanta, heinä yms.

4.2.2 Reaktorit

Tutkimusta varten rakennettiin neljä reaktoria, joiden nimellistilavuudet olivat:

- R1: 120 l (Yli-Kitka)
- R2: 80 l (Kuusamojärvi)
- R3: 12 l (Torankijärvi)
- R4: 12 l (Referenssi, eli ymppi).

Suluissa olevat merkinnät viittaavat kussakin reaktorissa käsiteltävään biomassaan. Ylikitkan ja Kuusamojärven syötemateriaalien orgaanisen aineksen määrä oli suurin ja siksi nämä materiaalit tutkittiin isommissa reaktoreissa. Vastaavasti Torankijärven syötemateriaalin orgaanisen aineksen määrä oli pieni ja sitä tutkittiin 12 l koereaktorissa. Myös ympin kaasuntuottoa tutkittiin 12 l koereaktorissa.

Reaktorit R1 ja R2 olivat vesihaudevaipalla varustettuja yksikköjä, sisäkorkeus 550/500 mm ja sisähal-
kaisu n. 530/470 mm. Pohjan muoto oli pyörästetty ja reaktorin alaosassa oli kaksilapainen sekoitin,

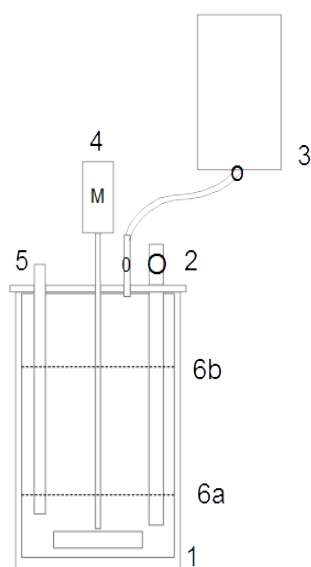
joka toimi 2 minuutin välein 10 sekuntia. Pyörimisnopeus oli 40 kierrosta minuutissa. Näytteenoton yhteydessä pyörimisnopeutta kasvatettiin, jotta saataisiin mahdollisimman edustava näyte. Samoin sekoitusnopeutta kasvatettiin syötteen lisäämisen aikaan sekoittumisen edistämiseksi.

Reaktorit R3 ja R4 olivat vesihauteeseen upotettuja poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisia yksikköjä, joiden sisäkorkeus oli noin 200 mm ja sisäleveys noin 200/300 mm. Muodoltaan kulmat olivat pyöristetyt. Reaktoreissa oli pienet lapasekoittimet, joiden pyörimisnopeus oli noin 60 kierrosta minuutissa. Sekoitus toimi jaksoin 15 minuuttia päällä, 15 minuuttia pois päältä.

Kussakin reaktorissa oli syöttöputki, joka ulottui lähelle reaktorin pohjaa ja joka oli varustettu palloventtiilillä. Varalta oli myös vastaavanlaiset poistoputket, joita ei käytetty mädätystestien aikana. Kaasun poistoa varten oli palloventtiileillä varustetut poistoyhteet. Poistoyhteestä kaasu johdettiin kaasunäytepussiin (tai pusseihin). Kaasunäytepusseissa olivat tilavuudeltaan 10–100 l, monikerroksellisia alumiini/PE-kerroksin päällystettyjä pusseja, jotka oli varustettu sulkuventtiilein.

Reaktorien tiiveys testattiin johtamalla niihin paineellista biokaasua ja tutkimalla mahdolliset vuotokohdat/tiivistyspinnat herkällä vuototesterillä ennen varsinaisen kokeen käynnistämistä.

Reaktorien lämpötila säädettiin vesihauteiden lämpötilan avulla. Kussakin reaktorissa oli lähes pohjan tasolle ulottuva alapäästään umpinainen putki, jonka sisällä oli lämpötila-anturi. Yläpäästään putki suljettiin eristävällä solumuovilla. Tavoitelämpötila oli 37 °C eli lähellä mesofiilisen hajoamisen optimia. Vesihauteen lämpötilan vaihtelu (hystereesi) oli noin 1,5–2 °C, pienessä reaktorissa vaihtelu oli hieman isompaa ja siihen vaikutti mm. sekoituksen pidemmät taukojaksot sekä pienempi vesihauteen nestetilavuus. Reaktoria on havainnollistettu kuvissa 14 ja 15.



Kuva 14. Reaktorin kuvaus. 1 = vesihaudetila, 2 = syöttöputki + venttiili, 3 = kaasunäytepussi, 4 = sekoitinlaitteisto, 5 = lämpötilan mittaustasku, 6 = nestepinta: a) alussa, b) lopussa.



Kuva 15. Reaktorit R1 ja R2 Jahotec Oy:n Limingan biokaasulaitoksella. Huomaa reaktoreiden yläpuolella olevat kaasukeräinpussit. Kuva: Markku Pelkonen, Jahotec Oy.

4.2.3 Reaktoreiden syöttäminen

Reaktorit R1 ja R2 käynnistettiin 29.8.2017 ja reaktorit R3 ja R4 30.8. Reaktorin R1 nestetilavuus käynnistyspäivänä (mukaan lukien syöte) oli 30 litraa (ympin osuus 22,4 litraa) ja R2:n nestetilavuus 22,5 litraa (ympäri 15 litraa). Ensimmäisellä viikolla vesiruttosyötteen lisäys tapahtui kolmena päivänä, siitä eteenpäin joka työpäivä (ma-pe). Syötteen mukana lisättiin laimennusvettä syötteen juoksevuuden varmistamiseksi. Laimennusvetenä käytettiin tyydytettyä vesijohtovettä. Biokaasutus ns. märkäprosessina edellyttää, että syötteen ja reaktorilietteen kuiva-ainepitoisuus reaktoreissa on maksimissaan 10 %, kuitenkin mieluummin alle tämän.

Reaktorin R3 käynnistystilavuus (ensimmäinen syöte mukaan lukien) oli 3 l (ympäri 2,15 litraa). Reaktoriin R4 lisättiin pelkkää ympäri 9 litraa.

Koska reaktoreiden nestetilavuus muuttui kokeen aikana, on sen muutos otettu huomioon poistuneen kaasun määrän laskennassa. Kaasutilavuuden pieneneminen vastaa 2–3 % reaktoreista purkautuneista kaasumääristä.

Syötteen lisääminen lopetettiin seuraavasti, suluissa aika käynnistämisestä (d = vuorokausi)

- R1 15.9. (17 d)
- R2 21.9. (23 d)
- R3 21.9. (22 d)

Panostestissä joudutaan rajoittamaan syötteen määrää suhteessa ymppiin, sillä muutoin on vaarana reaktorin ylikuormittuminen sekä sen seurauksena hapon muodostuminen ja metanogeenien inhiboituminen, jolloin kaasun tuotanto (lähes) lakkaa. Siksi tähän tutkimukseen valitussa lähestymistavassa ensimmäinen syötemäärä vastasi lähes normaalin panostestin koko syötetisäystä, ja syöttöä ajallisesti lisäämällä voitiin em. ongelma hallita. Vastaavasti jatkamalla syötteen lisäämistä riittävän pitkään voidaan ympin dominoiva vaikutus mädätteestä minimoida. Ideaalisesti ympin vaikutus voidaan poistaa (lähes) kokonaan jatkuvatoimisella mädätyskokeella, joka jatkuu vähintään kolme kuukautta. Tähän ei tässä yhteydessä ollut mahdollisuuksia aikataulun eikä syötemateriaalin riittävyydenkään kannalta.

Reaktoreita ajettiin muutoin normaalisti 4-5 viikkoa sen jälkeen kun syötteen lisääminen lopetettiin.

4.2.4 Mittaukset

Syötteiden määrä punnittiin vaa'alla (mittaustarkkuus 1 g). Nestetilavuuksia mitattiin myös asteikolla varustetulla mittakannulla (5 l). Reaktoreiden pH ja lämpötila mitattiin näytteenoton yhteydessä (pH-mittari mallia VWR, jossa erillinen lämpötila-anturi). Jokaisen pH-mittauksen yhteydessä tarkistettiin elektrodin antama lukema kalibrointiliuokselle. pH-mittarin lämpötila-anturin lukema tarkistettiin ajoittain kiinteästi asennettujen lämpötilamittareiden suhteen.

Kaasun määrä mitattiin pumppaamalla näytepusseihin kerääntynyt kaasu paljekaasumittarin läpi. Mittarin lukemataarkkuus oli 0,1 l. Pieni osa kaasusta saatettiin mitata kaasuanalysaattorin mittauksen yhteydessä mittaamalla analysaattorin pumppausaika ja tarkistamalla analysaattorin pumpun virtaama paljemittarilla. Erityisesti suuremmat kaasumäärät oli tarkoituksenmukaisinta määrittää tällä tavoin kahdessa erässä. Kaasun koostumus määritettiin kannettavalla Dräger-kaasuanalysaattorilla, joka mittaa CH₄- ja CO₂-pitoisuudet infrapuna-absorbanssin avulla, sekä O₂- ja H₂S-pitoisuudet sähkökemiallisilla kennoilla. Analysaattorilla saatuja tuloksia verrattiin vastaavasta näytepusseista saatuun mittaustulokseen, joka on tehty laboratoriossa kaasukromatografisesti. Vertailukertoja oli kaikkiaan kolme. Kaasuanalysaattorin tuloksiin on tehty ilmanpaine- ja korjaus sekä laboratoriotuloksien perusteella saatu korjaus. Pääkomponenttien (CH₄ ja CO₂) mittaustuloksiksi arvioidaan edellä mainitulla perusteella enintään 2 tilavuusprosenttia.

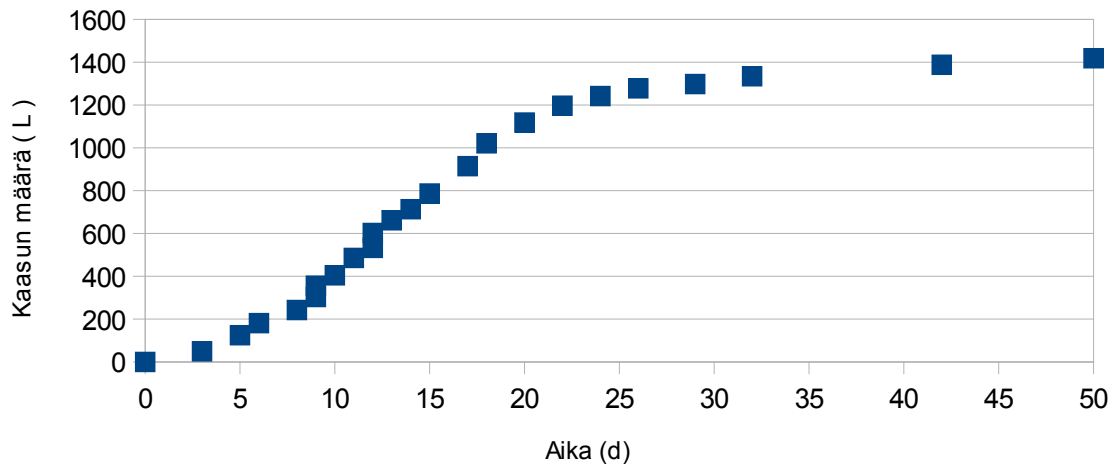
4.2.5 Laboratoriomittaukset

Syötemateriaaleista määritettiin laboratoriossa gravimetrisesti kuiva-aine (105 °C) ja tuhkapitoisuus (550 °C). Reaktoreista otettiin lietenäytteitä 1–2 kertaa viikossa. Näytteistä analysoitiin pH ja sekä kuiva-aine ja tuhkapitoisuus.

4.3 Tulokset

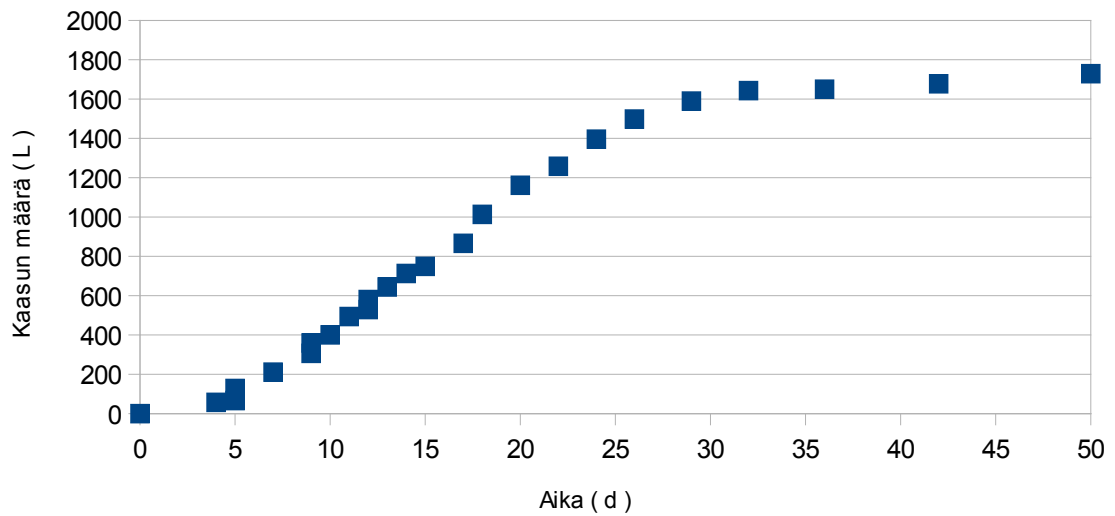
Kumulatiiviset kaasumäärät on esitetty kuvissa 16–18. Koska ympin tuottama kaasumäärä (R4) oli mitätön, ei sen vaikutusta ole tarvinnut erikseen laskennallisesti huomioida.

R1 kumulatiivinen kaasumäärä



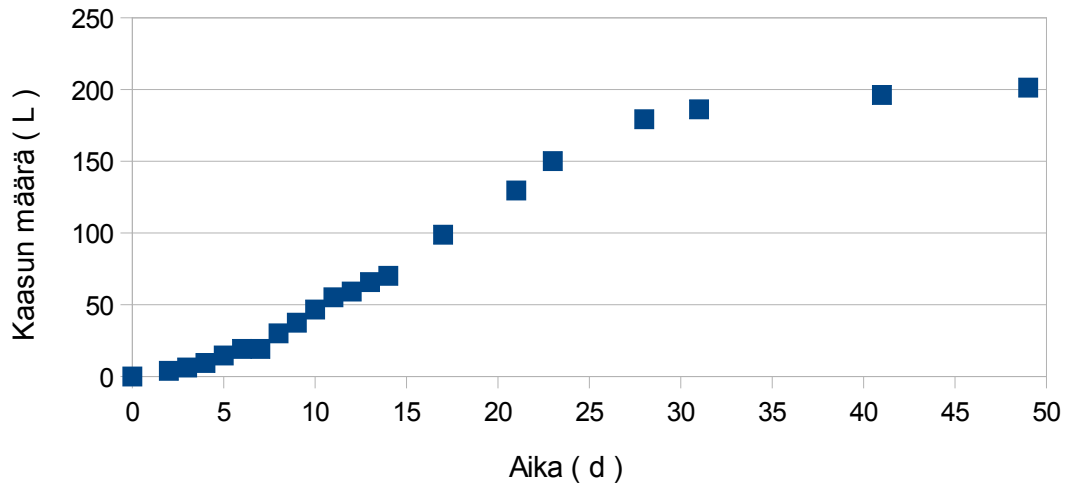
Kuva 16. Reaktorin R1 (Yli-Kitka) kumulatiivinen kaasumäärä. Syöttö lopetettu 15 d kohdalla.

R2 kaasumäärä kumulatiivinen



Kuva 17. Reaktorin R2 (Kuusamojärvi) kumulatiivinen kaasumäärä, syöttö lopetettu 23 d kohdalla

R3 kaasumäärä, kumulatiivinen



Kuva 18. Reaktorin R3 (Torankijärvi) kumulatiivinen kaasumäärä, syöttö lopetettu 22 d kohdalla

Kaasun muodostumisnopeus on eri reaktoreissa ollut samankaltaista, eikä eroja juurikaan ole havaittavissa. Kaasun muodostuminen on jatkunut samankaltaisena noin viikon syötön lopettamisen jälkeen. Kaasun määrä suhteessa syötemateriaalin kuiva-aineen ja orgaanisen aineen määrään on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Kaasun ominaismäärät eri reaktoreissa. Kaasun määrän yksiköt ovat muodossa l / g TS, eli litraa kaasua kuiva-ainegrammaa kohden sekä l / g VS, eli litraa kaasua orgaanista kiintoainegrammaa kohden.

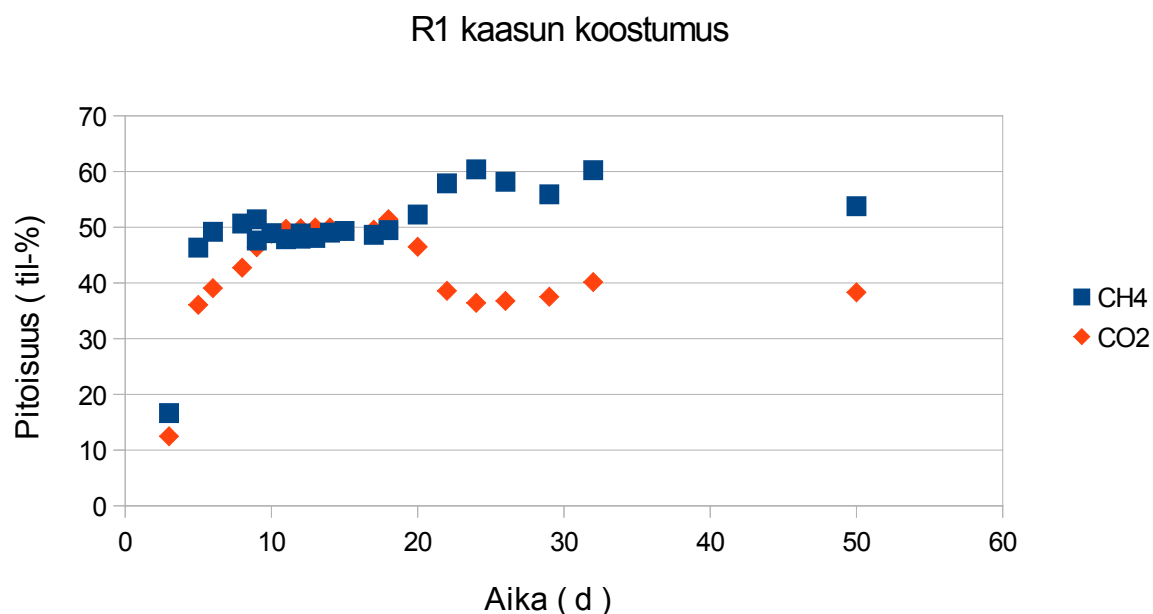
	Kaasun määrä (l / g TS)	Kaasun määrä (l / g VS)
R1 (Yli-Kitka)	0,66	0,77
R2 (Kuusamojärvi)	0,59	0,71
R3 (Torankijärvi)	0,53	0,71

Eroja kaasun ominaistuotoissa on jonkin verran, kun vertaillaan kuiva-aineen määrään. Sen sijaan kun otetaan tarkemmin huomioon lisätyn orgaanisen aineen määrä, saadaan hyvin samankaltaisia tuloksia R2:n ja R3:n syötemateriaaleille, kun taas R1 vaikuttaisi poikkeavan hieman edellä mainituista arvoista. Kuitenkin R1:n syötteen kuiva-ainemäärityksissä on jonkin verran enemmän hajontaa kuin muiden, samoin sen kuiva-ainepitoisuus on selvästi alhaisin, eli noin 8 %, kun muissa se oli noin 10 %. Reaktorin R1 syöttö loppui muita reaktoreita aiemmin, sillä syötemateriaali loppui aiemmin kuin muissa reaktoreissa. Tämän vuoksi myös kuiva-ainemäärien määrä jäi pienemmäksi kuin muissa reaktoreissa. Oletamme, että R1:n syötteen keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus on ilmeisesti ollut hieman nyt saatua arvoa suurempi, jolloin taulukossa olevat erot tasoittuvat ainakin osittain ja kaasun ominaistuoton arvioidaan olevan 0,70–0,75 l/g VS tasolla kaikissa reaktoreissa.

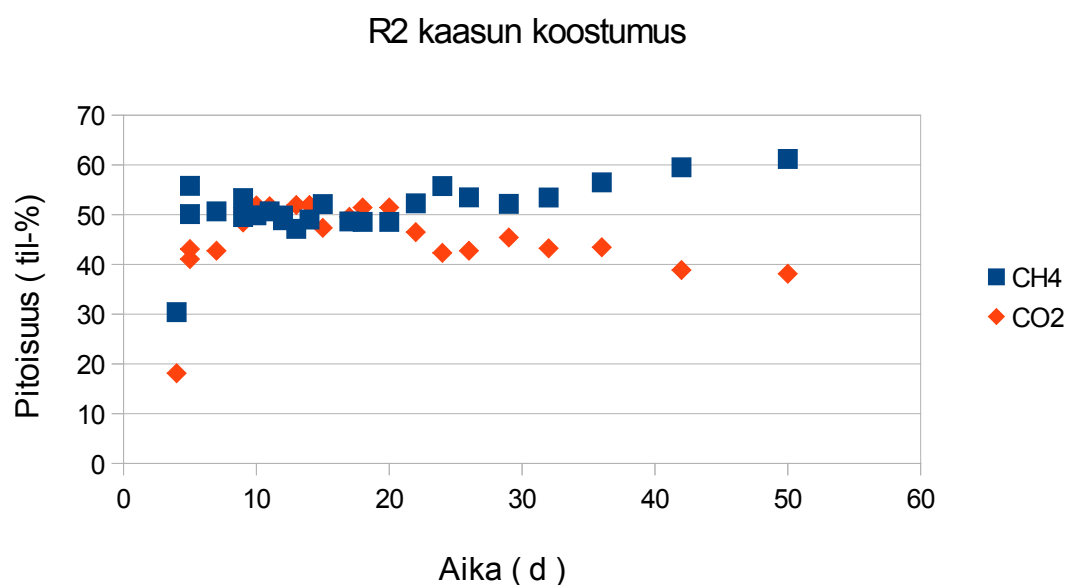
Kaasun koostumus eri reaktoreissa on esitetty kuvissa 19–21. Reaktoreiden R1-R3 keskimääräiset metaanipitoisuudet olivat 52, 52 ja 54 % tässä järjestyksessä. Alkuvaiheen 1–2 ensimmäistä havaintoa on jätetty pois em. keskiarvojen laskennassa, jolloin saadut pitoisuudet kuvaavat keskimääräisiä olosuhteita sekä edustavat paremmin jatkuvatoimista prosessia. Havaintojen perusteella metaanipitoisuus on nous-

sut testin loppua kohden ja hiilidioksidipitoisuus vastaavasti laskenut. Vakiintuneen syöttövaiheen aikana pitoisuudet ovat olleet lähes vakiotasolla. Mitatut kaasun happipitoisuudet ovat olleet lähellä 0,5 %:n tasoa. Kuitenkin happianturin tarkkuus ja nopeus alhaisissa happipitoisuuksissa on aiheuttanut käytännössä sen, että todellinen arvo on ollut tätä alhaisempi. Rikkivetypitoisuudet olivat suurimmillaan noin 15 ppm, yleensä ne olivat suuruusluokkaa 10 tai alle. Alhainen pitoisuus on johtunut ympäristöteestä, joka on pystynyt sitomaan rikkivetyä.

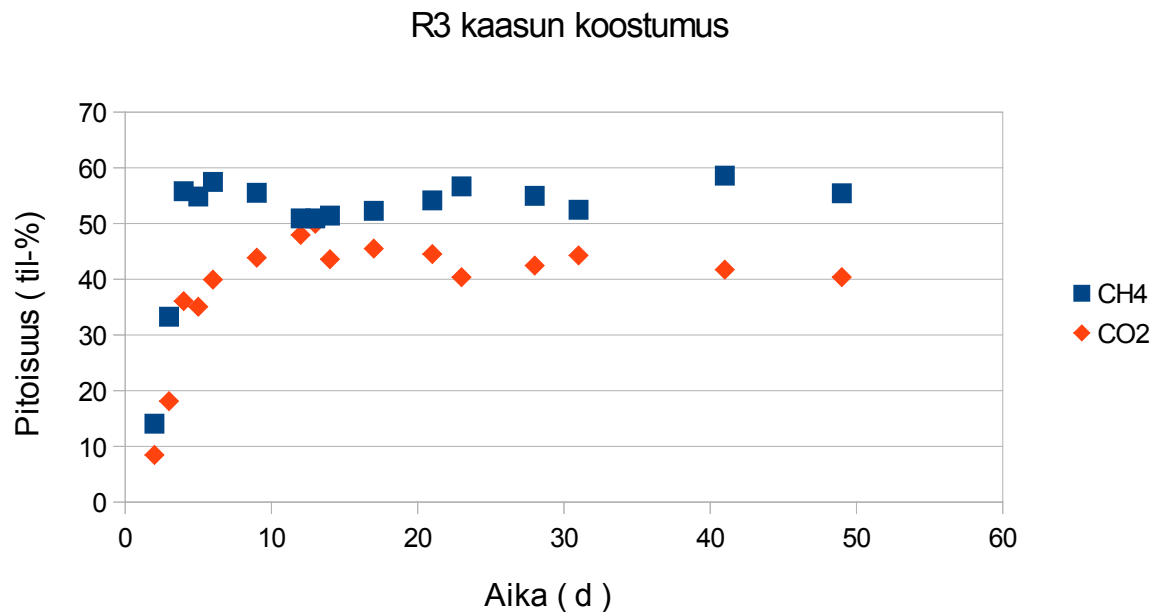
Kun lasketaan edellä esitettyjen tulosten perusteella metaanin ominaistuotto, saadaan tulokseksi 0,36–0,39 l CH₄ / g VS.



Kuva 19. Kaasun koostumus reaktorissa R1 (Yli-Kitka).

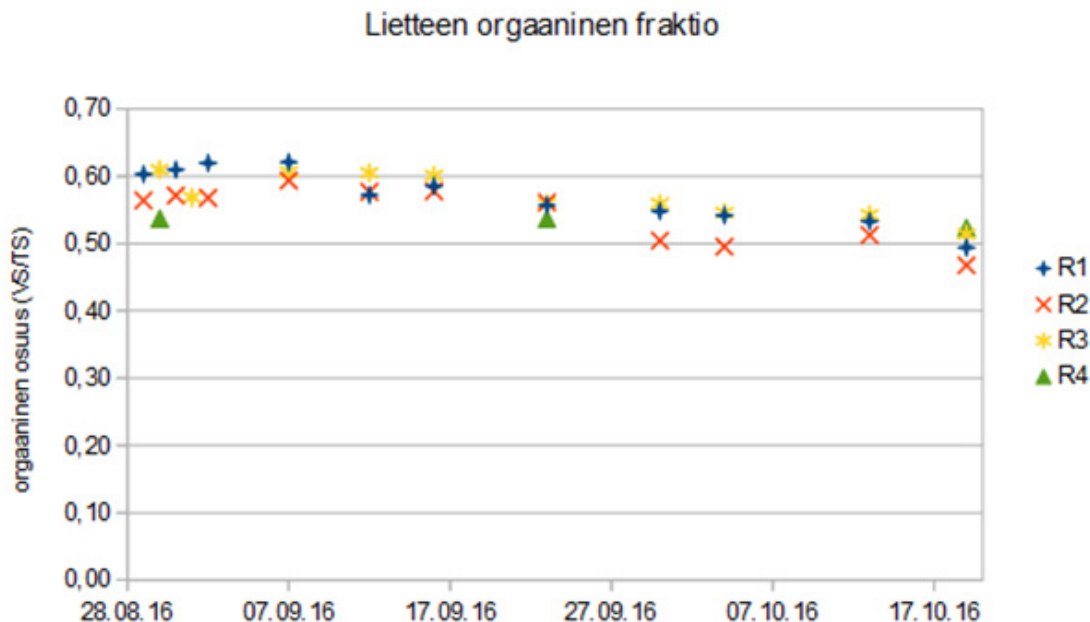


Kuva 20. Kaasun koostumus reaktorissa R2 (Kuusamojärvi).



Kuva 21. Kaasun koostumus reaktorissa R3 (Torankijärvi).

Orgaanisen aineen hajoamista kuvaa reaktorilietteiden orgaanisen aineen osuus (Kuvat 22 ja 23). Korkeimmillaan orgaanisen aineen osuus on ollut syöttövaiheessa, noin 60 % ja se on laskenut loppua kohden noin 50 %:iin. Ympärienteen (R4) muutokset ovat olleet vähäisiä kokeen aikana.



Kuva 22. Reaktorilietteiden orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta (VS/TS) kokeen aikana.



Kuva 23. Näytteenottoa reaktorilietteestä. Kuva: Lea Hiltunen, Luke

Reaktorien keskimääräiset lämpötilan ja pH:n arvot sekä lietteiden kuiva-ainepitoisuudet on esitetty taulukossa 2. Pienemmissä reaktoreissa (R3 ja R4) on lämpötila ollut keskimäärin 1,5 astetta alempi kuin isommissa reaktoreissa (R1 ja R2). Vertailtavuuden kannalta tällä ei ole käytännössä merkitystä, kun ollaan lähellä mesofiilistä lämpötilan optimia. Lämpötilahavaintojen keskihajonta oli alle 1,0 astetta, joten lämpötila on pysynyt suhteellisen vakiona. Reaktorin R2 pH oli alhaisimmillaan lähellä 7,0:aa, ja pienehköjä annoksia soodaa lisättiin reaktoriin kaksi kertaa syöttövaiheen alkupuolella. Muita pH:n säätötoimia ei tarvinnut tehdä. Soodan lisäyksen vaikutus oli suuruusluokkaa 0,05 pH-yksikköä eli varsin vaatimaton. Reaktorin R3 pH oli aktiivisista reaktoreista korkein, minkä voi arvioida johtuneen muista selvästi suuremmasta syötteen tuhkapitoisuudesta.

Taulukko 8. Lämpötilan, pH:n ja kuiva-aineen keskiarvot reaktoreissa R1-R4 testiaikana.

	Lämpötila	pH	Kuiva-aine (% TS)
R1	37,3	7,3	2,2
R2	37,5	7,2	2,8
R3	35,8	7,4	2,8
R4	36	7,7	3,9

4.4 Tulosten tarkastelu

Tulosten perusteella biokaasun saanto vesirutosta on ollut suuruusluokkaa 0,7–0,75 l / g VS ja metaanin saanto 0,36–0,39 l CH₄ / g VS. Saanto on korkeampi kuin useille muille orgaanisille jakeille, joita hyödynnetään laajasti biokaasuprosesseissa (Taulukko 9). Syötteen murskaaminen alle 10 mm palakokoon on ilmeisesti lisännyt biokaasun saantoa jossain määrin. Isossa mittakaavassa syötteen murskaus on myös mahdollista, vaikkakin tässä käytetyn partikkelikoon saavuttamiseksi tarvittaisiin omanlaista esikäsittelytekniikkaa. Eri syötemateriaalien kaasun ja metaanin saantoja on esitetty taulukossa 9. Vertailun perusteella vesiruton metaanin saantoa voidaan pitää varsin hyvänä.

Taulukko 9. Biokaasun ja metaanin saantojen vertailu eri syötteillä.

Syöte	l / g VS	l CH ₄ / g VS
Sokerijuurikas ¹⁾	0,73–0,77	0,39–0,41
Vehnä (koko kasvi) ¹⁾	0,65–0,7	0,35–0,38
Vehnä (jyvä) ¹⁾	0,7–0,75	0,37–0,40
Nurmi ¹⁾	0,53–0,6	0,29–0,32
Puna-apila ¹⁾	0,53–0,62	0,30–0,35
Levä ²⁾	0,34 (0,2–0,5)	0,18
Vesirutto	0,7–0,75	0,36–0,39

Lähteet: ¹⁾Weiland 2010, ²⁾Debowski ym. 2013

4.5 Tulosten hyödyntäminen ja johtopäätökset

4.5.1 Vesiruton soveltuvuus biokaasutukseen

Vesirutto on biokaasuprosessiin sopiva syötemateriaali, joka tuottaa runsaanpuoleisesti biokaasua. Materiaali on ominaisuuksiltaan melko helposti (esi)käsiteltävää ja käytettävissä myös lisäsyötemateriaalina muiden syötteiden joukossa. Koska se on melko nopeasti hajoavaa, soveltuisi se esimerkiksi nopeuttamaan biokaasun tuotantoa tilanteissa, joissa tarvitaan lisää kaasua. Vesiruttomassan mädätysprosessin käynnistysvaiheessa tulisi kuitenkin varmistaa, että prosessi ei ylikuormitu, jolloin reaktorilietteen pH:n alenee liikaa.

Vesiruton käyttöä biokaasutuksessa rajoittaa sen suurehko vesipitoisuus (noin 90 %). Tämä vaikuttaa niin biomassan varastointiin kuin kuljetuksiinkin. Biokaasutuksen edistämiseksi tulisi erilaisia massan kuivausratkaisuja kehittää siten, että massan kuiva-ainepitoisuus olisi kuivauksen jälkeen 20–30 %. Syötemateriaalin kuiva-ainetavoite liittyy lähinnä varastointiin ja kestäväntiin, ei itse mädätysprosessiin. Biokaasutus ns. märkäprosessina edellyttää, että syötteen kuiva-ainepitoisuus on maksimissaan 10 %, kuitenkin mieluummin alle tämän.

Järven kunnostuksen kannalta kuivatuksessa vapautuvaa vettä ei tulisi suoraan päästää takaisin järveen. Kuivatusvesi tulisi kerätä talteen ja käyttää esimerkiksi peltoviljelyn kasteluvetenä.

Keskeinen kysymys vesiruton biokaasutuksessa on materiaalin varastointi, kuten yleensäkin energiakasvisyötteillä. Kasvin korjuu-aika on lyhyehkö ja haluttaessa sen laajempaa hyödyntämistä biokaasutuksessa, on se voitava varastoida pidemmäksi ajaksi. Jos sitä hyödynnetään vain korjuu-aikana tai ly-

hytaikaisen varastoinnin avulla, merkitsee se lyhytaikaista korkeamman kuormituksen jaksoa biokaasulaitokselle, jonka hallittavuus riippuu laitostuosta. Pidempiaikaisessa varastoinnissa tapahtuu orgaanisen aineen hävikiä, mikä pitäisi minimoida. Syötteen korjuu, kuivaus ja varastointi pitäisi suunnitella kokonaisuutena, joka palvelee biokaasuprosessin tarpeita.

Varastoinnin vertailuun voidaan käyttää nurmea, jonka pitkäaikaiseen varastointiin käytetään mm. siiloa ja paalausta. Materiaali on hyvä murskata riittävän pieneen partikkelikokoon (alle 20 mm) sekä sen kuiva-ainepitoisuuden tulisi olla 25–35 %, jotta se voidaan tiivistää hyvin. Ilmatiiviissä ja hapettomassa tilassa massan orgaanisen aineksen häviöt ovat alle 10 %.

Eräs vaihtoehto vesiruton biomassan varastointiin on siilokäsittely yhdessä kuivemman syötemateriaalin kanssa. Tällöin kuiva-ainepitoisuus voidaan suoraan säätää varastointiin soveltuvalla kuiva-aineen yli 20 % alueelle. Soveltuva materiaali voisi olla esimerkiksi olki, jota syntyy maataloudessa ja jonka käyttö on mahdollista suuremmissakin määrin melko vähäisin kustannuksin. Olki tulisi kuitenkin murskata ennen yhteissiilokäsittelyä. Varastointitapoja tulisi tutkia tarkemmin esim. laboratoriomittakaavassa ja sen jälkeen valita soveltuvimmat suuremman mittakaavan kokeiluun.

Varastointiin liittyy myös hajukysymys. Korjuun jälkeen kasvin vesipitoisuus on niin suuri, että hajua voi muodostua otaksuttavasti melko nopeasti, ainakin ulkolämpötilassa. Kuivaus vähentää hajun muodostumista. Muodostuvan biokaasun rikki(vety)pitoisuutta ei voida luotettavasti tämän tutkimuksen pohjalta arvioida, sillä rikkivety sitoutui valtaosin ympäristöön. Todennäköistä on, että rikkivetyä vapautuu melko lailla samankaltaisesti kuin energiakasveilla yleensä. Biokaasutuksessa stabiloituneen rejektin hajun muodostus on todennäköisesti melko vähäistä. Rejektin hyödyntäminen kasviraavinteenä voi tapahtua kuten lietteillä muutoinkin, esimerkiksi käyttäen vastaavanlaista maatalouden levityskalustoa.

4.5.2 Biokaasutuksesta lisäarvoa järvikunnostuksiin?

Järvien kunnostamiseen liittyy käytännössä aina järven virkistyskäyttöarvon lisääminen. Järven umpeenkasvu (liiallinen vesikasvillisuus), leväkukinnot ja vinoutunut kalakanta sekä järven liettyminen (pieni vesisyvyys) ovat keskeisiä syitä järven virkistyskäyttöä lisäävien kunnostusten käynnistämisessä. Kunnostushankkeissa muodostuu helposti suuria kustannuksia, joiden vuoksi ne päätyvät toteutukseen vain, jos järven virkistyskäyttöpotentiaali on suuri.

Vesikasveja poistettaessa rehevästä järvestä, on uhkana että järveen tulee leväkukintoja. Myös kalakan vinoutuminen särkikalavaltaiseksi voi lisätä leväkukintojen riskiä. Biomanipulaatiolla poistettava vähempiarvoinen kala (särkikalat) ja vesikasvit lienevät hyvin biokaasutukseen soveliaasta raaka-ainetta. Tässä tutkimuksessa selvitettiin vain vesiruton soveltuvuutta biokaasutukseen ja todettiin, että vesiruton metaanintuotantopotentiaali olisi 360–390 m³/t VS. Riihimäki ym (2014) on esittänyt, että sisävesikalojen ja kalanperkeiden tuotantopotentiaali voi olla jopa 520 m³/t VS ja vesikasveista järviruo'on 250 m³/t VS. Mikäli biokaasutusta halutaan käyttää järven kunnostustoimien jatkojalostusmuotona, tulisi myös poistetun kalamassan ja muiden vesikasvien soveltuvuutta biokaasutukseen testata tarkemmin. Myös pohjasedimentin biokaasutusmahdollisuus tulisi tutkia, ainakin runsaimmin orgaanista ainesta sisältävän pintasedimentin osalta. Näitä eri jakeita kutsutaan jatkossa yhteisnimityllä järvikunnostuksen biomassalla.

Järven kunnostustoimet ovat yleensä kertaluontoisia toimia – kunnes ne täytyy toistaa muutaman vuoden kuluttua uudelleen järven tilan ylläpitämiseksi. Vesikasvillisuuden ja vähäarvoisen kalan osalta voidaan kuitenkin ajatella, että niiden poistaminen järvestä on keino palauttaa valuma-alueelta järveen päätyneitä ravinteita takaisin kiertoön pelloille biokaasutuksen rejektin muodossa. Ravinteiden lisäksi samalla saataisiin biomassaan sitoutunut energia talteen. Järvestä poistetun biomassan hyötykäyttö tällä

tavalla olisi kiertotalouden malliesimerkki, joka voisi olla taloudellisesti kannattavampaa kuin pyrkiä estämään ravinnekuormitusta vesistöihin nykyisiä toimenpiteitä tehokkaammilla keinoilla. Samalla biomassan poistosta järvestä voisi tulla vuosittain toistettava hoitotoimenpide. Kunnostustoimenpiteen yhteydessä biokaasutettavaa materiaalia muodostuu yleensä kerralla paljon, joten massan käsittely ja asianmukainen varastointi tulee miettiä etukäteen, ennen kunnostustoimien aloittamista.

Yllä kuvatun perusteella vesikasvillisuus ja kalabiomassa voisivat sopia erittäin hyvin hyödynnettäväksi maatalouden biokaasulaitoksissa, koska viljelijä saisi hyötyä biomassan korjuusta sekä energian että ravinteiden muodossa. Järvikunnostuksen biomassaa voidaan kuljetusetäisyyksien niin salliessa hyödyntää myös isommissa, kiinteissä biokaasutuslaitoksissa osana muuta syötevirtaa. Esitettyjen vaihtoehtojen toteuttaminen edellyttää kuitenkin käytännön kenttäkokeiden järjestämistä.

Järvikunnostuskaluston yhteyteen rakennettava biokaasutuskontti on noussut esille mahdollisena innovaationa järvikunnostuksen biomassan biokaasutukseen liittyen. Ehdotus on tutkimisen ja testaamisen arvoinen, kun samalla kehitetään myös kaasun varastointia ja käyttöä. Myös järvikunnostuksen biomassan hyödyntämisen taloudellista kannattavuutta on syytä tutkia tarkemmin järvikunnostushankkeiden talouden parantamiseksi.

4.5.3 Johtopäätökset

Vesirutto on biokaasuprosessiin sopiva syötemateriaali. Kaasun saanto vesirutosta on tämän tutkimuksen tulosten perusteella ollut suuruusluokkaa 0,7–0,75 l /g VS ja metaanin saanto 0,36–0,39 l CH₄ / g VS. Tulokset ovat hyviä, sillä arvot ovat korkeampia kuin useille muille orgaanisille jakeille, joita hyödynnetään laajasti biokaasuprosesseissa. Vesiruton laajempi käyttö biokaasutuksessa edellyttää vielä lisätutkimuksia ja käytännön kokeita. Erityisesti vesiruton korjuutekniikat, varastointi ja esikäsittelyt ovat ensimmäisinä selvityslistalla. Tulokset olivat kuitenkin niin rohkaisevia, että näihin haasteisiin kannattaa tarttua erityisesti alueilla, joissa vesiruton vaivaamia järviä on. Järven virkistyskäytön riesasta näyttäisi siis tulevan biokaasutuksen raaka-aine ja energianlähde.

5. Vesiruttoa pellolle - paranisiko kasvu ja vähenisivätkö kasvitaudit?

Lea Hiltunen ja Elina Virtanen

5.1 Johdanto

Vesirutto sisältää monia kasvien tarvitsemia pää- ja hivenravinteita (Lizama ym. 1988, Muñoz Escobar ym. 2011), minkä vuoksi se voisi soveltua orgaaniseksi lannoitteeksi sellaisenaan. Ravinteiden lisäksi se toisi peltoon orgaanista ainesta. Vesirutto on myös hyvä biokaasutuksen raaka-aine suuren metaanintuottokykynsä takia (Vitie 2009, Muñoz Escobar ym. 2011, Zehnsdorf ym. 2015). Biokaasutusprosessin sivutuotteena syntyy aina mädätysjäännöstä eli rejektiä, joka sisältää syötteenä käytetyn materiaalin ravinteet, ja voi soveltua lannoitusaineeksi. Biokaasutusprosessissa 30–80 % materiaalin orgaanisesta aineesta muunnetaan metaaniksi ja hiilidioksidiksi, minkä seurauksena jäännöksen hiili/tiypin suhde laskee ja lannoitevaikutus paranee (Lehtomäki ym. 2007). Suuri osa käsiteltävän materiaalin sisältämästä orgaanisesta tyyppistä muuttuu liukoiseksi ammoniumtyypeksi, joka on peltolevityksessä nopeasti kasvien hyödynnettävissä. Myös muut pää- ja hivenravinteet saadaan kokonaan talteen, koska ne eivät muutu käsittelyn aikana. Mädätyksessä ei synny muun muassa kationinvaihtokapasiteetille tärkeitä humusyhdisteitä, mikä heikentää rejektin käyttöarvoa maanparannusaineena (Joona 2008). Lisäksi biokaasutusprosessissa syntyvä mikrobikanta on sopeutunut hapettomiin oloihin eikä näin ollen ole hyödyksi peltoomaassa (Joona 2008).

Vesiruton kyky vallata elintilaa vesistössä perustuu ainakin osittain sen alleopaattisiin ominaisuuksiin ts. sen kykyyn tuottaa ja erittää yhdisteitä, jotka vaikuttavat muiden eliöiden kasvuun (Gross 2003, Erhard & Gross 2006, Erhard 2005). *Elodea*-suvun kasvit tuottavat mm. fenolisia yhdisteitä, jotka estävät monien epifyyttisten levien ja syanobakteerien kasvua (Erhard & Gross 2006, Erhard 2005). Vesirutosta (*E. nuttallii*) valmistetun vesiuutteen on havaittu heikentävän myös joidenkin maakasvien itämistä ja kasvua (El-Ghazal & Riemer 1986). Vesiruton sisältämien yhdisteiden vaikutuksia muihin kuin vedessä eläviin pieneliöihin ei ole selvitetty. Näin ollen niiden vaikutusta esimerkiksi maakasvien taudinaiheuttajiin ei tunneta eikä vesiruton potentiaalia kasvitautilien torjunnassa tiedetä. Orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden taudinestovaikutuksen selvittämistä vaikeuttaa se, että taudinestokyvyn osoittamiseen ei ole olemassa yleispätevää indikaattoria (Bonanomi ym. 2010, Salo ym. 2013). Parhaan kuvan taudinestokyvystä antaisi useiden eri kemiallisten, biologisten ja fysikaalisten parametrien tarkastelun ohella kasvuympäristössä tehdyt testaukset, sillä ympäristötekijöillä on oleellinen vaikutus sekä kasvitautilien kehittymiseen että niiden biologiseen torjuntaan.

Tämän osatehtävän tavoitteena oli selvittää tuoreen vesiruton ja biokaasutuksen sivutuotteena muodostuneen mädätysjäännöksen eli rejektin ominaisuuksia ja arvioida tulosten perusteella niiden soveltuvuutta maanparannusainekäyttöön sekä potentiaalia biologisessa kasvitautilien torjunnassa.

5.2 Aineisto ja menetelmät

5.2.1 Biomassan ominaisuudet

Kolmesta eri järvestä otetusta vesiruttonäytteestä (ks. osa 1, luku 3.2.1) määritettiin ravinne-, raskasmetalli- ja kuiva-ainepitoisuudet, fenolisten yhdisteiden profiili sekä terpeenien esiintyminen (Taulukko 10). Lisäksi määritettiin vesiruttomassasta poistuneen veden ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet. Analyysimenetelmät on esitetty liitteessä 1 ja raportin osassa 3. Luonnonvarakeskus (Luke) Oulun laboratoriossa testattiin vesiruton ja vesirutosta lähtevän veden toksisuutta viljelykasveille sekä vaikutusta joidenkin meillä yleisesti esiintyvien kasvitaudinaiheuttajien kasvuun.

Taulukko 10. Vesiruton biomassasta tehdyt analyysit ja testaukset.

Testi	Kuvaus	Testin tekijä	Testattava näyte
Ravinneanalyysi	Ravinnekoostumus (B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Zn), kuiva-aine, C/N	Ahma Ympäristö Oy	Biomassa Biomassasta poistunut vesi
Raskasmetallianalyysi	Raskasmetallipitoisuus (Fe, Al, Ba, Cr, Mn, Sr, V, Zn, As, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Se, Ru)	Syke Helsinki	Biomassa Biomassasta poistunut vesi
Fytotoksisuus	Vesiruton vaikutus vihanneskrassin, nauriin ja italianraiheinän itämiseen	Luke Oulu	Biomassasta tehty vesiute Biomassasta poistunut vesi
Taudinesto	Vesiruton vaikutus taudinaiheuttajien kasvuun <i>in vitro</i>	Luke Oulu	Biomassasta tehty vesiute Biomassasta poistunut vesi Biomassalla tai biomassasta poistuneella vedellä ympätty kasvatusliemi
Fenoliset yhdisteet	Vesiruton sisältämien fenolisten yhdisteiden profiili	Luke Jokioinen	Biomassa
Terpeenit	Vesiruton sisältämät terpeenit	Luke Jokioinen	Biomassa

Vesiruton toksisuutta viljelykasveille selvitettiin petrimaljalla tehdyssä fytotoksisuustestauksessa. Testikasveiksi valittiin kolme erityyppistä kasvilajia: italianraiheinä (*Lolium multiflorum*), vihanneskrassi (*Lepidium sativum*) ja nauris (*Brassica rapa*). Vesiruttonäytteistä valmistettiin El-Ghazal & Riemer (1986) mukaillen vesiutetta, jota käytettiin laimentamattomana ja laimennettuna (10 %). Edellä mainittujen vesiutteiden lisäksi testattiin vesirutosta poistuneen veden toksisuutta. Kutakin testiliuosta pipetoitiin petrimaljalla olevalla imupaperille, minkä jälkeen siemenet idätettiin imupaperin päällä. Maljoja pidettiin huoneenlämmössä (19–20 °C) pimeässä ja itäneiden siementen määrä laskettiin 5–7 vuorokauden idätyksen jälkeen. Itävyyttä verrattiin kontrollikäsittelyyn (steriili vesi), jolle annettiin suhdeluvuksi 100. Jokaisesta kasvilaji-testiliuosyhdistelmästä tehtiin 3–4 toistoa.

Vesiruton vaikutusta kasvipatogeenien kasvuun testattiin ns. agardiffuusio -menetelmällä (Ventura ym. 2012). Menetelmä perustuu näytteen sisältämien mikrobien kasvua estävien aineiden leviämiseen ympäröivään kasvatusalustaan ja sen seurauksena testimikrobien kasvun estymiseen, jolloin näytteen ympärille muodostuu estovyöhyke. Estovyöhykkeen leveyttä käytetään kuvaamaan aineen haitallisuutta testimikrobille.

Testimikrobeiksi valittiin meillä yleisesti esiintyviä kasvitautinaiheuttajia (Taulukko 11). Kasvatusalustana sädebakteereille ja sienille käytettiin perunadekstroosi -agaria (PDA) ja bakteereille ravintoaineagaria (NA). Kasvitautinaiheuttajamikrobit siirrostettiin kasvatusalustalle. Bakteerit ja sädebakteerit levitettiin tasaisesti koko maljalle, mutta sienet siirrostettiin agarpalassa maljan keskelle. Testiliuoksina käytettiin 1) vesiruttomassasta valmistettua steriloitua vesiuutetta, 2) vesiruttomassasta poistunutta steriloitua tai 3) steriloimatonta vettä sekä 4) vesirutolla tai 5) vesirutosta poistuneella vedellä ympättyä ravinneliuosta. Viimeksi mainituilla haluttiin selvittää, onko vesiruton pinnalla tai kasvimateriaalista poistuneessa vedessä mikrobeja, joilla on vaikutusta kasvipatogeenien kasvuun. Kasvatusalustaan tehtiin 5 mm:n koloja, joihin testiliuosta pipetoitiin. Bakteerimaljoja inkuboitiin 27 °C:ssa ja sieni- ja sädebakteerimaljoja 22 °C:ssa. Näytekolon ympärille muodostuvan estovyöhykkeen leveys mitattiin kullekin mikrobitoille tyypillisen kasvuajan jälkeen. Jokaisesta testi-liuos-taudinaiheuttajayhdistelmästä tehtiin kolme toistoa. Lisäksi vesiruttokasvin paloja sellaisenaan tai autoklavoituna laitettiin petrimaljoille kasvipatogeenikasvustojen päälle ja vaikutuksia taudinaiheuttajan kasvuun havainnoitiin.

Taulukko 11. Taudinestotestauksissa käytetyt kasvitautinaiheuttajat ja niiden alkuperä.

Taudinaiheuttaja	Lyhenne	Alkuperä	Tauti
<i>Streptomyces europaeiscabiei</i>	Se	Peruna	Perunarupi
<i>Streptomyces turgidiscabies</i>	St	Peruna	Perunarupi
<i>Pectobacterium atrosepticum</i>	Pa	Peruna	Perunan tyvimätä
<i>Dickeya solani</i>	Ds Vic	Peruna	Perunan tyvimätä
<i>Dickeya solani</i>	Ds 1A	Peruna	Perunan tyvimätä
<i>Botrytis allii</i>	BotS	Sipuli ¹⁾	Sipulinharmaahome
<i>Botrytis cinerea</i>	BotM	Mansikka ¹⁾	Harmaahome
<i>Fusarium avenaceum</i>	Fav	Apila ¹⁾	Apilan juurilaho
<i>Fusarium oxysporum</i>	Fox	Istukassipuli ¹⁾	Sipulinfusarioosi
<i>Rhizoctonia solani</i>	Rs	Peruna	Perunaseitti

¹⁾ Kanta peräisin Asko Hannukalan, Luke, kokoelmista.

5.2.2 Rejektin ominaisuudet

Biokaasutuksen rejekteistä (ks. osa 2, luku 4.2.) tehtiin hygienia-, alkuaine- ja fysikaalis-kemiallisia analyysejä (Taulukko 12). Analyysimenetelmät on esitetty liitteessä 3, raportin osassa 3. Luke Oulun laboratoriossa testattiin rejektien toksisuutta viljelykasveille sekä vaikutusta kasvitautinaiheuttajien kasvuun. Testiliuoksina käytettiin 1) laimentamatonta ja 2) laimennettua (10 %) rejektiä sekä 3) laimentamatonta steriloitua rejektiä. Toksisuus- ja taudinestotestaukset tehtiin samalla tavalla kuin vesiruton biomassasta tehdyt vastaavat testaukset (luku 5.2.1).

Taulukko 12. Rejektistä tehtyt testaukset.

Testi	Kuvaus	Testin tekijä
Alkuaine- sekä fysikaalis-kemialliset analyysit	P/P liukoinen, N/N liukoinen, Ca, K, Mg, Mn, S, Si, Zn, B, Na, Cu, Cr, Cd, Co, Ni, Pb, Hg, Mo, pH, C/N sähkönjohtavuus, TOC (orgaanisen hiilen kokonaismäärä)	Ahma Ympäristö Oy
Hygieni-analyysit	<i>Escherichia colin</i> , <i>Salmonellan</i> esiintyminen	ScanLab
Fytotoksisuus	Rejektin vaikutus vihanneskrassin, nauriin ja raiheinän itämiseen	Luke Oulu
Taudinesto	Rejektin vaikutus taudinaiheuttajien kasvuun <i>in vitro</i>	Luke Oulu

5.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

5.3.1 Biomassan ominaisuudet ja hyödyntäminen

Tuoreen biomassan kuiva-ainepitoisuus oli pieni (Taulukko 13). Vesirutto sisälsi huomattavia määriä kasvien tarvitsemia pääravinteita mm. typpeä, kaliumia, kalsiumia ja fosforia. Pitoisuudet ovat samaa tasoa kuin aiemmissa tutkimuksissa on havaittu (Lizama ym. 1988, Muñoz Escobar ym. 2011) ja vertailukelpoisia monien orgaanisena tai viherlannoitteena käytettyjen kasvien ravinnepitoisuuksien kanssa (Taulukko 13). Hivenravinteista vesirutto sisälsi erityisen runsaasti mangaania ja rautaa. Raskasmetallipitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä kuin epäorgaanisissa lannoitteissa sallitut enimmäispitoisuudet (Taulukko 14). Biomassan maanparannusainekäytöstä aiheutuva haitallisten aineiden kuormitus olisi esimerkiksi 10 t/ha -levitysmäärällä alle 2 % jätevesilietettä sisältävien lannoitevalmisteiden sallitusta vuosikuormasta. Ravinnekoostumuksensa puolesta biomassa soveltuu lannoituskäyttöön, mutta vaikutuksia maan rakenteeseen ei selvitetty. Aiemmissä tutkimuksissa ongelmallisena on pidetty biomassan hidasta hajoamista maassa suuren selluloosapitoisuuden vuoksi (Muñoz Escobar ym. 2011). Toisaalta eloperäisen aineen hitaalla hajoamisella on pitkäaikainen vaikutus maan rakenteeseen ja mikrobistoon, ja siten se on hyödyllinen ominaisuus maanparannusvaikutuksen kannalta (Joona 2013). Tämän hankkeen näytteiden selluloosa- ja ligniinipitoisuus oli melko alhainen (18 % kuiva-aineessa) (Taulukko 13) verrattuna aiempiin tuloksiin (35 % kuiva-aineessa) (Muztar ym. 1978). Maanparannusvaikutusten todentaminen edellyttäisi pitkäkestoisia tutkimuksia pelto-olosuhteissa.

Taulukko 13. Vesiruton biomassan ominaisuudet (n=3, keskihajonta suluissa) verrattuna joidenkin viherlannoitteena käytettävien viljelykasvien ominaisuuksiin (Luke 2017, Mavi 2008).

Analyysi/ ravinne	Yksikkö	Pitoisuus viljelykasveissa				
		Pitoisuus vesirutto- massassa	Sokeri- juurikkaan naatit	Nurmi	Herne- ja virna- kasvusto	Vehnän/ kauran olki
Kuiva-aine	%	9,0 (±1,3)	13	20	17	85
Selluloosa + ligniini	g/kg ka	179 (±16)	-	-	-	-
C-N -suhde		16 (±5,6)	-	-	-	-
Fosfori	g/kg ka	3,2 (±1,4)	2,4	3,0	3,5	1,0
Typpi	g/kg ka	28 (±9,9)	31	26	34	5,0
Kalsium	g/kg ka	15 (±1,5)	14	3,8	9,5	2,6
Magnesium	g/kg ka	2,9 (±0,4)	7,3	1,8	2,1	1,0
Kalium	g/kg ka	34 (±4,5)	48	30	30	15
Natrium	g/kg ka	3,8 (±2,0)	12	0,35	0,60	0,20
Rikki	g/kg ka	2,6 (±0,2)	5,0	2,0	2,0	2,0
Rauta	g/kg ka	2,0 (±0,8)	0,65	0,18	0,18	0,07
Mangaani	g/kg ka	9,6 (±14)	0,25	0,06	0,02	0,07
Kupari	mg/kg ka	3,2 (±0,9)	16	7,0	9,0	4,0
Sinkki	mg/kg ka	36 (±23)	200	31	56	23
Boori	mg/kg ka	11 (±1,5)	-	-	-	-

Taulukko 14. Raskasmetallipitoisuus vesiruton kuiva-aineessa ja tuoremassassa sekä vesirutosta poistuneessa vedessä (n=3, keskihajonta suluissa) verrattuna haitallisten metallien sallittuihin enimmäispitoisuuksiin epäorgaanisissa lannoitteissa (Maa- ja metsätalousministeriö 2011) ja sallittuun vuosikuormaan lannoitevalmisteissa, joiden raaka-aineena on käytetty jätevesilietettä (Maa- ja metsätalousministeriö 2012).

	Pitoisuus			Sallittu enimmäismäärä lannoitteissa (mg/kg ka)	Sallittu vuosikuorma (g/ha)
	Vesiruton kuiva- aineessa (mg/kg ka)	Vesiruton tuo- remassassa (mg/t)	Vesirutosta poistuneessa vedessä (mg/1000 l)		
Raskasmetalli					
Arseeni	0,25 (±0,08)	22 (±6,8)	0,52 (±0,05)	25	-
Kadmium	0,04 (±0,02)	3,4 (±1,4)	0,07 (±0,04)	1,5	1,5
Kromi	1,7 (±1,2)	155 (±111)	3,6 (±0,47)	300	300
Kupari	3,2 (±0,99)	294 (±89)	12 (±4,3)	600	600
Nikkeli	1,5 (±0,30)	135 (±27)	3,3 (±1,2)	100	100
Lyijy	0,22 (±0,16)	20 (±14)	3,0 (±2,5)	100	100
Sinkki	21 (±16)	1920 (±1395)	60 (±61)	1500	1500
Alumiini	304 (±281)	27375 (±25329)	1200 (±100)	-	-
Barium	801 (±1082)	72075 (±97365)	114 (±51)	-	-
Koboltti	0,93 (±0,13)	84 (±12)	1,6 (±0,35)	-	-
Strontium	60 (±10)	5400 (±921)	29 (±13)	-	-
Vanadiini	1,6 (±1,0)	145 (±86)	6,6 (±2,3)	-	-

Myös vesirutosta poistunut vesi sisälsi kasvinravinteita (Taulukko 15) ja raskasmetalleja (Taulukko 14). Näin ollen vesirutosta lähtevän veden käyttö kasteluun toisi peltoon pieniä määriä ravinteita ja haitta-aineita. Esimerkiksi 100 m³, joka vastaisi 10 mm kastelua hehtaarille, sisältäisi noin 0,5 kg typpeä, 0,07 kg fosforia, 0,5 kg kaliumia, 1,4 kg kalsiumia ja 0,4 kg magnesiumia. Haitta-aineiden määrä olisi alle 0,5 % jätevesilietettä sisältävien lannoitevalmisteiden sallitusta vuosikuormasta.

Taulukko 15. Vesirutosta poistuneen veden ravinnepitoisuus (n=3, keskihajonta suluissa).

Ravinne	Yksikkö	Pitoisuus vesirutosta lähtevässä vedessä
Fosfori	mg/l	0,70 (±0,15)
Typpi	mg/l	4,8 (±1,7)
Kalsium	mg/l	13 (±6,6)
Magnesium	mg/l	3,5 (±1,1)
Kalium	mg/l	4,9 (±3,0)
Natrium	mg/l	9,0 (±0,01)
Rikki	mg/l	1,9 (±0,93)
Mangaani	mg/l	1,1 (±0,56)
Rauta	mg/l	5,3 (±1,6)

Vesiruttomassan fytotoksisuutta selvitetävissä siementen itävyystestissä havaittiin, että laimentamaton vesirutouute heikensi kaikkien testikasvien siementen itämistä. Vaikutus kaksisirkkasiin vihanneskrassiin ja nauriiseen oli suurempi kuin yksisirkkaiseen italianraiheihin (Taulukko 16). Sen sijaan laimennetulla uutteella tai vesirutosta poistuneella vedellä ei ollut vaikutusta itämiseen. Aiemmassa tutkimuksessa vesiruton (*E. nuttallii*) on havaittu hidastavan salaatin itämistä ja kasvua lievästi, mutta vehnään (*Triticum aestivum*) tai rikkakasveihin (elämänlanka *Ipomea hederacea*, kananhirssi *Echinochloa crus-galli*) sillä ei ollut vaikutusta (El-Ghazal & Riemer 1986).

Taulukko 16. Vesirutouutteen ja vesirutosta poistuneen veden vaikutus vihanneskrassin, nauriin ja italianraiheihin itävyyteen (n=3, keskihajonta suluissa). Vihanneskrassin ja nauriin itävyys laskettiin 5 ja italianraiheihin 7 vuorokauden idätyksen jälkeen.

Testiliuos	Itävyys (%)		
	Vihanneskrassi	Nauris	Italianraiheinä
Kontrolli (vesi)	100	100	100
Vesirutouute, laimentamaton	4 (±7,7)	1 (±1,9)	19 (±27)
Vesirutouute, laimennettu (10 %)	102 (±4,9)	102 (±0)	90 (±5,8)
Vesirutosta poistunut vesi	97 (±2,9)	96 (±6,1)	102 (±2,0)

Laboratoriotesteissä vesirutto inhiboi joidenkin taudinaiheuttajien kasvua. Vesirutolla tai vesirutosta poistuneella vedellä ympätty kasvatusliemi esti perunarupea aiheuttavan *Streptomyces*-sädebakteerin (St) kasvua ja itiöintiä sekä selvästi, mutta ei yhtä paljon *Fusarium*- (Fav, Fox) ja *Rhizoctonia*-sienten (Rs) kasvua (Taulukko 17, Kuva 24). Rupibakteerin kasvun ja itiöinnin estyminen oli havaittavissa myös maljoilla, joille vesiruttokasvia oli laitettu bakteerikasvuston päälle (Kuva 25). Lisäksi vesirutosta poistuneella vedellä oli selvä, mutta lievä taudinaiheuttajien kasvua estävä vaikutus. Sen sijaan vesirutosta valmistettu uute, joka steriloidiin ennen käyttöä, ei vaikuttanut yhdenkään testatun kasvipatogeenin

kasvuun. Tulokset viittaavat siihen, että maljoilla havaittu antimikrobinen vaikutus perustuu biologisiin tekijöihin, esim. vesiruton pinnalla tai vesirutosta poistuneessa vedessä oleviin mikrobeihin tai niiden tuottamiin yhdisteisiin. Testimaljoilta eristettiin monia sieniä ja bakteereja, jotka saattaisivat olla esto-vaikutuksen aiheuttajia. Tämän hankkeen puitteissa ei kuitenkaan ollut mahdollista tunnistaa näitä mikrobeja tai selvittää yksittäisten mikrobien osuutta kasvitautinaiheuttajien kasvun estossa.

Vesirutto ei vaikuttanut testissä olleiden kasvipatogeenisten bakteerien (Pa, Ds Vic, Ds 1A) kasvuun (Taulukko 17). Nämä bakteerit ovat nopeakasvuisia ja niiden optimikasvulämpötila on 27°C. Optimilämpötilassa tehty testaus antaa taudinaiheuttajalle edun, ja sen vuoksi testaukset olisi hyvä toistaa useimmissa lämpötiloissa, mukaan lukien ne lämpötilat, joissa taudinestovaikutuksen tulisi pelto-oloissa toimia.

Tässä työssä vesiruttomassan taudinestovaikutusta selvitettiin laboratoriotestillä, joka perustuu näytteen sisältämien yhdisteiden tai mikrobien leviämiseen ympäröivään kasvatusalustaan ja testimikrobien kasvun estämiseen. Testi ei huomioi isäntäkasvin (ts. viljelykasvin) roolia eikä kasvuympäristön tekijöiden vaikutuksia. Näin ollen tulokset indikoivat vesiruton potentiaalia taudin torjunnassa, mutta taudinestovaikutuksen toimiminen viljelyoloissa tulee selvittää tarkemmin peltotestauksilla.

Taulukko 17. Steriloidun vesiruttouutteen, vesirutosta poistuneen veden ja vesirutolla tai vesirutosta poistuneella vedellä ympätyn kasvatusliemen vaikutus taudinaiheuttajien kasvuun (n=3, keskihajonta suluissa).

Testiliuos	Estovyyhykkeen leveys (mm)								
	BotS ¹⁾	BotM	Fav	Fox	Rs	Pa	Ds Vic	Ds 1A	St
Kontrolli (vesi)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vesiruttouute, steriili	- ²⁾	-	1 (±0,8)	0	0	0	0	0	0
Vesirutosta poistunut vesi									
- steriloimaton	3 (±1,5)	1 (±0,5)	6 (±4,4)	5 (±1,7)	3 (±0,5)	0	0	0	2 (±1,9)
- steriloitu	3 (±3,0)	2 (±2,1)	4 (±2,6)	4 (±4,5)	1 (±0,9)	0	0	0	0
Kasvatusliemi									
- ympätty vesirutolla	5 (±0,7)	1 (±1,1)	3 (±3,4)	12 (±3,6)	7 (±0,8)	0	0	0	12 (±1,1)
- ympätty vesirutosta poistuneella vedellä	1 (±1,0)	1 (±1,2)	4 (±3,7)	8 (±4,5)	7 (±1,4)	0	0	0	14 (±3,0)

¹⁾ Taudinaiheuttajat on esitetty taulukossa 11.

²⁾ - ei testattu



Kuva 24. Vesirutto ja siitä poistunut vesi estivät perunarupea aiheuttavan sädebakteerin (*S. turgidiscabies*) kasvua ja itiöintiä. Kasvualustan koloissa testiliuksina oli 1) steriiliä vettä (kontrolli), 2) vesiruttomassasta lähtevää steriloi-matonta vettä, 3) vesiruttomassasta poistunutta steriloitua vettä, 4) vesirutolla ympättyä ravinneliuosta ja 5) vesiru-tosta poistuneella vedellä ympättyä ravinneliuosta. Kasvunestovyöhyke on merkitty punaisella ja itiöinnin esto-vyöhyke sinisellä janalla. Kuva: Lea Hiltunen, Luke



Kuva 25. Tuore vesiruton pala esti perunarupea aiheuttavan sädebakteerin (*S. turgidiscabies*) kasvua ja itiöintiä. Vasemmalla tuoreen, autoklavoimattoman ja oikealla autklavoidun kasvin pala. Kuva: Lea Hiltunen, Luke

Vesirutosta määritettiin myös fenolien ja terpeenien esiintymistä, sillä aiemmissa tutkimuksissa näillä yhdisteillä on oletettu olevan yhteyttä uposlehtisten vesikasvien allelopaattiseen aktiivisuuteen (Erhard 2005, Erhard & Gross 2006 Gross 2003). Vesiruttomassa sisälsi fenoleista mm. klorogeenihappoa, api-geniinia ja luteoliinia sekä joitakin muita tunnistamattomia fenolisia yhdisteitä, mutta niiden pitoisuuksia ei määritetty. Sen sijaan terpeenejä ei havaittu. Todennäköisesti vesiruton sisältämällä fenoleilla ei ollut osuutta havaitussa taudinaiheuttajien kasvun estossa, sillä estovaikutus hävisi autklavoidussa materiaalissa.

5.3.2 Rejektin ominaisuudet ja hyödyntäminen

Vesiruton rejektissä oli runsaasti typpeä sekä huomattavia määriä kaliumia ja joitakin hivenravinteita (Taulukko 18). Verrattuna mädätettyyn lietelantaan kokonaistypen määrä oli suuri (Taulukko 19). Myös liukoisen typen määrä oli suuri, vaikka sen osuus kokonaistypestä jäi pienemmäksi (44 %) kuin lietelannalla (yli 75 %). Sen sijaan rejektissä oli vähän fosforia ja vesiliukoisen fosforin osuus oli pieni, vain 2,7 % kokonaisfosforista.

Odotusten mukaisesti rejektin kuiva-ainepitoisuus (2,6 %) ja C/N -suhde (0,3) olivat lähtömateriaalin pitoisuuksia huomattavasti alhaisemmat (Taulukko 13). Rejektin orgaaniseen ainekseen sitoutuneen hiilen määrä (TOC) oli alhainen (< 1 kg/t tuorepainossa) verrattuna lietelantaan (TOC 4–9 kg/t tuorepainossa) tai tuoreeseen kuiva-lantaan (TOC 30–40 kg/t tuorepainossa) (Joona 2013).

Rejektin raskasmetallipitoisuudet sekä ihmiselle vaarallisten taudinaiheuttajien/indikaattorieliöiden määrät alittivat lannoitevalmisteissa sallitut enimmäismäärät (Taulukko 20 ja 21).

Taulukko 18. Rejektin fysikaalis-kemialliset ominaisuudet sekä pää- ja hivenravinteet.

Analyysi/ravinne	Yksikkö	Pitoisuus rejektissä
Kuiva-ainepitoisuus	%	2,6 (±0,35)
pH		7,4 (±0,21)
Sähkönjohtavuus	mS/m	1333 (±404)
C-N -suhde		0,3 (±0)
TOC	mg/l	819 (±263)
Typpi	g/l	18 (±4,9)
Typpi (liukoinen)	g/l	8,0 (±1,5)
Kalium	g/l	1,5 (±0,09)
Kalsium	mg/l	937 (±189)
Fosfori	mg/l	464 (±82)
Fosfori (liukoinen)	mg/l	13 (±10)
Magnesium	mg/l	183 (±38)
Mangaani	mg/l	622 (±977)
Natrium	mg/l	248 (±112)
Rikki	mg/l	232 (±37)
Pii	mg/l	958 (±556)
Boori	mg/l	1,5 (±0,64)

TOC, orgaanisen hiilen kokonaismäärä

Taulukko 19. Vesiruttomassan ja rejektin ravinnepitoisuudet tuoreaineessa verrattuna raakalietteeseen sekä eri lähtömateriaalien mädätysjäännöksiin (Joona 2008, Marttinen ym. 2013, Pakarinen ym. 2015)

Aine	Kuiva- aine (%)	Pitoisuus (kg/t)				
		N kok	N liuk	P kok	P liuk	K
Vesiruttomassa	9,0	2,8	-	0,34	-	3,5
Rejekti	2,6	18	7,8	0,45	0,01	1,4
Raakaliete	8,6	5,5	4,0	1,2	-	1,2
Lietteen mädätysjäännös	6,1	5,7	4,4	1,1	-	1,1
Mädätysjäännös						
- Liete + teollisuuden sivutuote	8,9	7,6	5,8	2,0	0,48	1,8
- Biojäte	25	19	4,4	3,0	0,05	-
- Biojäte + puhdistamo- ja teollisuusliete	33	14	2,0	2,3	0,03	-

Taulukko 20. Rejektin raskasmetallipitoisuudet (n=3, keskihajonta suluissa) sekä haitallisten metallien sallitut enimmäispitoisuudet epäorgaanisissa lannoitteissa (Maa- ja metsätalousministeriö 2011).

Raskasmetalli	Pitoisuus rejektissä (mg/kg ka)	Lainsäädännön asettama raja-arvo lannoitteissa (mg/kg ka)
Elohopea	0,14 (±0,02)	1,0
Kadmium	< 0,78 (±0,11)	1,5
Kromi	48 (±29)	300
Kupari	186 (±102)	600
Nikkeli	29 (±19)	100
Lyijy	8,9 (±0,57)	100
Sinkki	366 (±28)	1500
Koboltti	3,8 (±27)	-
Molybdeeni	3,5 (±0,69)	-

Taulukko 21. Taudinaiheuttajien/indikaattorieliöiden määrät rejektissä sekä lannoitevalmisteissa sallitut enimmäismäärät (Maa- ja metsätalousministeriö 2011).

Taudinaiheuttaja/ indikaattori	Yksikkö	Määrä rejektinäytteessä	Sallittu enimmäismäärä
<i>Salmonella</i>	/25 g	Ei todettu	Ei todettavissa
<i>Escherichia coli</i>	pmy/g	< 10	< 1000

pmy = pesäkkeenmuodostusyksikkö

Laimentamaton rejekti esti täysin vihanneskrassin ja nauriin itämisen ja alensi italianraiheinän itävyyttä (Taulukko 22). Myös 10-kertaisesti laimennettu rejekti alensi itävyyttä. Steriloidulla laimentamattomalla rejektillä oli samanlainen vaikutus kuin steriloimattomalla, mikä osoittaa, että itämisen estymisen ei johdu rejektin biologisesta vaan kemiallisesta ja/tai fysikaalisesta ominaisuudesta. Tällainen voi olla esimerkiksi sähkönjohtavuus, joka oli rejektissä yli 100-kertainen (Taulukko 9) kasvualustan suositeltavaan sähkönjohtavuuteen verrattuna (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999). Sähkönjohtavuus kuvaa vesiliukoisten suolojen pitoisuutta, ja sen ollessa suuri siementen itäminen voi estyä johtuen suuresta osmoottisesta potentiaalista, joka estää siementen veden saannin, tai tiettyjen ionien toksisesta vaikutuksesta (Sosa ym. 2005). Biokaasutuksen sivutuotteet ovat sellaisenaan maanparannusaineina tai orgaanisina lannoitteina käytettäviä valmisteita eikä niille ole lainsäädännöllisiä raja-arvoja kuvaamaan itävyyden estymistä (Marttinen ym. 2013). Rejektin mahdollinen fytotoksinen vaikutus tulisi kuitenkin ottaa huomioon rejektin levityspaikan ja -ajankohdan suunnittelussa.

Taulukko 22. Rejektin vaikutus vihanneskrassin, nauriin ja italianraiheinän itävyyteen (n=3, keskihajonta suluissa). Itävyydet laskettiin 7 vuorokauden idätyksen jälkeen.

Testiliuos	Itävyys (%)		
	Vihanneskrassi	Nauris	Italianraiheinä
Kontrolli (vesi)	100	100	100
Rejekti, laimentamaton	0	0	11 (±16)
Rejekti, laimennettu (10 %)	61 (±12,3)	48 (±12,1)	88 (±7,7)
Rejekti, steriili, laimentamaton	0	0	6 (±6,2)

Rejektillä oli vain vähäinen vaikutus joidenkin kasvipatogeenien kasvuun (Taulukko 23), joten vesiruttomassan taudinesto-ominaisuudet heikkenivät oleellisesti biokaasutusprosessissa. Mikrobin, ml. taudinaiheuttajat ja hyödylliset mikrobit, säilymisestä anaerobisessa mesofiilisissä (32–42 °C) oloissa, jotka vallitsivat biokaasutusprosessin aikana, ei ole juurikaan tietoa (EPPO 2008). Jotkut kasvi- ja ihmispatoogeenit (esimerkiksi *Fusarium oxysporum*, *Ralstonia solacearum*, *Salmonella typhimurium*) voivat tuhoutua täysin, kun taas toiset, kestäviä tuottavat taudinaiheuttajat (esimerkiksi *Plasmodiophora brassicae*, *Sclerotium cepivorum*) voivat säilyä ja esiintyä havaittavissa määrin vielä prosessin jälkeen (Termorshuizen ym. 2003). Mädätyksen aikana vallitsevat olosuhteet kuitenkin suosivat hapettomiin oloihin sopeutuneita mikrobeja (Joona 2008).

Taulukko 23. Rejektin vaikutus taudinaiheuttajien kasvuun (n=3, keskihajonta suluissa).

Testiliuos	Estovöhykkeen leveys (mm)									
	BotS ¹⁾	BotM	Fav	Fox	Rs	Pa	Ds Vic	Ds 1A	Se	St
Kontrolli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rejekti, laimentamaton	2 (±0,4)	0	0	2 (±2,0)	0	0	0	0	1 (±0,9)	2 (±2,6)
Rejekti, laimennettu	3 (±2,8)	0	1 (±0,2)	1 (±0,2)	1 (±0,7)	0	0	0	3 (±2,8)	7 (±6,3)
Rejekti, steriili, laimentamaton	1 (±0,4)	0	0	0 (0,4)	0	0	0	0	0	0

¹⁾ Taudinaiheuttajat on esitetty taulukossa 11.

5.4 Johtopäätökset

Maanparannusainekäyttö

- Vesiruton biomassa sisältää kasvien tarvitsemia pää- ja hivenravinteita. Ravinnekoostumuksensa puolesta vesiruttomassa saattaisi soveltua lannoituskäyttöön.
- Biomassan vaikutuksia maan fysikaalisiin ja biologisiin ominaisuuksiin ei selvitetty. Jatkotutkimuksissa olisi tarpeen testata, miten se vaikuttaa mm. maan rakenteeseen, mikrobistoon ja viljelyominaisuuksiin.

- Vesiruton korjuu, käsittely, logistiikka, levitystavat, käyttömäärät sekä soveltuvuus eri viljelykasveille ja viljelytekniisiin toimenpiteisiin on tarpeen selvittää käytännön olosuhteissa.
- Vesiruton mädätysjäännöksenä syntyvä rejekti sisältää huomattavia määriä pää- ja hivenravinteita, joten se on arvokasta lannoitusainetta. Mm. liukoisen typen pitoisuus on suuri, mutta joidenkin muiden ravinteiden osalta rejektin käyttö vaatisi täydennyslannoitusta.
- Rejektin haitallisten raskasmetallien pitoisuudet sekä ihmiselle vaarallisten taudinaiheuttajien/indikaattorieliöiden määrät alittavat lannoitevalmisteissa sallitut enimmäismäärät.
- Laimentamaton rejekti esti laboratoriotesteissä siementen itämistä. Rejektillä saattaa olla fytotoksisia vaikutuksia myös pelto-olosuhteissa, mikä tulisi ottaa huomioon rejektin levityspaikan ja -ajankohdan suunnittelussa
- Rejektin käytössä tulee huomioida käyttöä ja levitystä koskeva lainsäädäntö sekä tukiehdot.

Potentiaali kasvitautien torjunnassa

- Vesirutolla ja siitä poistuneella vedellä oli perunarupea aiheuttavien sädebakteerien ja joidenkin kasvipatogeenisten sienten kasvua estäviä/hidastavia ominaisuuksia laboratorio-oloissa.
- Taudinestovaikutuksen toimiminen käytännön viljelyoloissa tulisi selvittää peltotestauksilla.
- Rejektin taudinestovaikutus oli vähäinen.

6. Soveltuisiko vesirutto elintarvikkeeksi tai kosmetiikkateollisuuteen?

Anna-Liisa Välimaa

6.1 Johdanto

Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi (*Elodea*) -hankkeen yhtenä osatavoitteena oli selvittää kanadanvesiruton (*Elodea canadensis*) käyttömahdollisuuksia jatkojalosteena ravintokäyttöön sekä kosmetiikkateollisuuteen, joita ei ole tiettävästi aiemmin tutkittu.

Elintarvikekäytön näkökulmasta olennaista on elintarvikkeen terveellisyys ja turvallisuus. Elintarvikkeita koskevien yleisten vaatimusten mukaan ”Elintarvikkeiden tulee olla kemialliselta, fysikaaliselta ja mikrobiologiselta sekä terveydelliseltä laadultaan, koostumukseltaan ja muilta ominaisuuksiltaan sellaisia, että ne ovat ihmisravinnoksi soveltuvia, eivät aiheuta vaaraa ihmisen terveydelle eivätkä johda kuttajaa harhaan.” Elintarvikelaki (23/2006).

Ihminen tarvitsee välttämättömiä ravintoaineita kasvuun, kudosten uusiutumiseen ja lisääntymiseen. Välttämättömien ravintoaineita ei muodostu elimistössä, joten ne on saatava ravinnosta. Välttämättömän ravintoaineen puuttuminen ruokavaliosta tai niukka saanti aiheuttaa puutosoireita ja erityisiä puutos-tauteja johtaen lopulta kuolemaan. Ihminen tarvitsee noin neljäkymmentä välttämätöntä ravintoainetta: vettä, energialähteitä (hiilihydraatit, rasvat, proteiinit), aminohappoja (aikuisen tarve 8), rasvahappoja (2), vitamiineja (13) sekä kivennäis- ja hivenaineita (15). Välttämättömien ravintoaineiden lisäksi ruoasta on löydetty muita yhdisteitä, jotka voivat olla hyödyllisiä terveydelle, kuten karotenoidit. (Mutanen & Voutilainen 2012a). Ruoka voi myös sisältää haitallisia luontaisia tai siihen vahingossa joutuneita vierasaineita, kuten raskasmetalleja tai mikrobitoroksineja (Törrönen & Mykkänen 2012).

Tässä tutkimuksessa vesiruton elintarvikekäyttömahdollisuuksia arvioitiin rasva- ja proteiinipitoisuuden, välttämättömien aminohappojen sekä seitsemän kivennäisaineen ja yhden vitamiinin sekä terveydelle hyödyllisten yhdisteiden karotenoidien ja flavonoidien osalta. Vierasaineiden osalta tarkasteltiin tiettyjä raskasmetallipitoisuuksia. Kemiallista turvallisuutta - luontaiset kemialliset haitta-aineet (esimerkiksi alkaloidit) ja mikrobitoroksin ei tutkittu. Ostrofsky & Zettler (1986) mukaan vesiruton alkaloidipitoisuus on korkea 0.19 mg/g kuivapaino. Lisäksi kirjallisuuden mukaan sen uutetta on käytetty oksetuslääkkeenä (<http://www.pfaf.org/USER/Plant.aspx?LatinName=Elodea+canadensis>), mikä viittaisi siihen, että vesirutto voisi sisältää haitta-aineita. Mikrobiologista turvallisuutta ei testattu, sillä luonnonkasveille asetetut mikrobiologiset vaatimukset puuttuvat lainsäädännöstä. Sen sijaan tarkasteltiin vesiruton antimikrobisia vaikutuksia. Koska vesiruttoa ei ole tiettävästi aiemmin käytetty elintarvikkeena, uuselintarvikkeeseen ja elintarvikkeisiin liittyvää lainsäädäntöä tuodaan esille lyhyesti.

Luonnonraaka-aineiden kysyntä kosmetiikkateollisuudessa on lisääntynyt, kuluttajat haluavat entistä turvallisempia ja ympäristöystävällisempiä tuotteita (Eljya 2006). Kasvit tuottavat primaari-metaboliiteista entsyymien avulla sekundaarimetaboliitteja, joita ovat muun muassa kasvien väri-, maku-, tuoksu- ja suoja-aineet. Joidenkin luonnonperäisten kasvien sekundaarimetaboliiteista (haihtuvat öljyt, karvasaineet, parkkiaineet, fenolit, glykosidit, saponiinit ja alkaloidit) tuotteistetaan kosmetiikkakäytön lisäksi myös ravintolisä-, farmasia- ja lääkintätuotteita (Holm & Hiltunen 2003).

Tässä tutkimuksessa vesiruton kosmetiikkakäyttömahdollisuuksia arvioitiin säilöntäaine (mikrobien kasvunesto-) ja antioksidanttikäytön osalta. Lisäksi käsiteltiin lyhyesti kosmetiikkalainsäädäntöä.

6.2 Aineisto ja menetelmät

Vesiruttonäytteet kerättiin käsin (suojakäsineet päällä) satunnaisotannalla kolmen eri järven ranta-alueelta noin 70–110 cm syvyydeltä Koillismaalta: Kuusamojärveltä, Torankijärveltä sekä Yli-Kitkalta. Koko kasvinäyttemäärä (noin 2,0 kg/järvi) kerättiin ensin tilaviin 40 litran muovisiin, kannellisiin saaveihin, jotka säilytettiin kuljetusauton tavaratilassa noin 2–3 h (ulkoilman lämpötila 10,9–12,2 °C). Sen jälkeen kasvimassa jaettiin 0,3 litran kokoisiin pakastusrasioihin (noin 60–103 g/rasia), ja pakastettiin -20 °C:een (Kuva 26). Näytteet kylmäkuivattiin (Christ Alpha 1-4 LDplus) Lukessa tehtäviä määrittelyksiä (ks. liite 5 ja 6) varten.

Lisäksi mikrobiologisia testauksia varten vesiruttoa kerättiin noin 1,5 kg / järvi muovisiin kannellisiin laatikoihin. Näytteitä (=tuorenäytteet) säilytettiin kylmälaukussa ja kylmiössä (5 °C) jatkotutkimuksia varten. Mikrobiologiset määritykset sekä kivennäisainemääritykset (ks. liite 2) tehtiin näistä tuoreista kasvinäytteistä. Näytteenotto raskasmetallianalyysijä varten on kuvattu kohdassa 3.2.1 Vesiruton koostumuksen määrittäminen. Mikrobiologisia määrittelyksiä varten myös vesirutosta lähtevästä vedestä (valuman määrityksen yhteydessä) otettiin näytteet (5 ml) Nutrient broth (NB)- ja Potato Dextrose Broth (PDB) -kasvatusliemiin (35 ml). Lisäksi vesiruttokasvista leikattiin 1,0 gramman kokoiset palat, jotka laitettiin NB ja PDB -kasvatusliemiin (ä 35 ml). Näytteet säilytettiin kylmälaukuissa ja kylmiössä (5 °C) ennen jatkokäsittelyä.



Kuva 26. Vesiruton keräysastia maastossa sekä vesiruttomateriaalin jakaminen pakastusrasioihin. Kuvat: Anna-Liisa Välimaa, Luke ja Satu Maaria Karjalainen, SYKE.

Elintarvikekäytön näkökulmasta vesiruttonäytteistä määritettiin seuraavat parametrit (menetelmäkuvaukset liitteissä):

- proteiinipitoisuus (raakavalkuainen) (ks. liite 5)
- aminohapot kolmen eri järven yhdistetystä näytteestä (ks. liite 5)
- raakarasva (ks. liite 5)
- rasvahappoprofiili (ks. liite 5)
- kivennäis- ja hivenaineet (ks. liite 1)
- E-vitamiini (ks. liite 6)

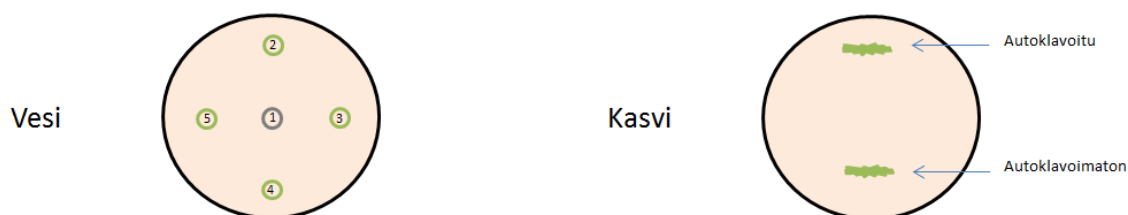
- karotenoidit (ks. liite 6)
- flavonoidit (ks. liite 6)
- antioksidanttiaktiivisuus (ks. liite 6)
- raskasmetallit (ks. raportin 3. kappale)
- mikrobiologiset määritykset (mikrobimääristä yleisesti ja antimikrobiset vaikutukset)

Vesiruton antimikrobiset vaikutukset (mikrobien kasvunestovaikutus) testattiin Nutrient -agarmaljoilla (NA) malliorganismeiksi valittuja elintarvikepatogeeniä (Taulukko 24) vastaan. Kasvunestotestausta varten bakteerit kasvatettiin NB -kasvatusliemessä 30 °C:ssa yön yli. Bakteerimaton aikaansaamiseksi viljelmää levitettiin maljan koko pinnalle vetämällä steriilillä vanupuikolla edestakaisin. Maljojen annettiin kuivua muutama minuutti ja niihin tehtiin korkkiporalla (Ø 5 mm) reikiä (Kuva 27). Reikiin lisättiin 30 µl kutakin näytettä: 1 kontrolli (steriili vesi), 2 vesirutosta lähtevä vesi, 3 autoklavoitu vesirutosta lähtevä vesi, 4 vesirutosta lähtevällä vedellä ympätty kasvatusliemi ja 5 vesiruttokasvilla ympätty kasvatusliemi. Lisäksi tuore kasvi (noin 1,5 cm:n kokoinen pala) testattiin autoklavoimattomana ja autoklavoituna. Maljojen inkubointiolosuhteet on esitetty taulukossa 24.

Taulukko 24. Malliorganismeina käytetyt elintarvikepatogeenit sekä testauksessa käytetyt inkubointilämpötilat ja -ajat.

Elintarvikepatogeeni	Inkubointilämpötila	Inkubointiaika
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	37 °C	24 h
<i>Salmonella abony</i>	37 °C	24 h
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	37 °C	24 h
<i>Bacillus cereus</i> ATCC 14579	37 °C	24 h
<i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 19111	30 °C	48 h
<i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 13932	30 °C	48 h

Inkuboinnin jälkeen kasvunestovaikutus näkyisi reikien ympärille muodostuneena kirkkaana kehänä, alueena, jolla kasvu on estynyt.



Kuva 27. Havainnekuva kasvunestotestausten toteuttamisesta. Kuva: Lea Hiltunen, Luke

Kosmetiikkakäytön näkökulmasta vesiruttonäytteistä määritettiin

- antioksidanttivaikutukset: E-vitamiini (ks. liite 6)
- säilöntäainevaikutukset: mikrobien kasvunestovaikutukset *S. aureus* ATCC 25923 sekä *E. coli* ATCC 25922 -kantoja vastaan (näytteet ja menetelmät kuten edellä).

6.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

6.3.1 Elintarvikekäyttö

6.3.1.1 Proteiini- ja aminohappopitoisuudet

Proteiineja tarvitaan elimistössä uusien proteiinien tuottoon (rakenneproteiinit, muun muassa kollageeni, elastiini, kuljetusproteiinit ja säätelyproteiinit) ja tyypeä sisältävien johdannaisien (muun muassa nukleotidit, biogeeniset amiinit: hormoneja, neuropeptidejä, farmakologisia amiineja) synteesiin sekä energian ja glukoosin tuottoon (Mutanen & Voutilainen 2012a).

Painokiloa kohden proteiinien saantisuositus vuorokaudessa on 1,1–1,3 g/kg 18–64-vuotiaille ja 1,2–1,4 g/kg 65 vuotta täyttäneille terveille ihmisille (VRN 2014). Esimerkiksi 70 kg painoinen henkilö tarvitsee 84 g (laskettu 1,2 g/kg tarpeen mukaan) proteiinia vuorokaudessa. vesiruton proteiinipitoisuus oli keskimäärin 1,4 g/100 g (tuorepaino). Proteiinipitoisuus on esimerkiksi noin kuusi ja puoli kertaa vähemmän kuin merilevässä, jonka proteiinipitoisuus on (kombu, kuivattu *Laminaria* spp., kuiva-ainepitoisuus ei ole tiedossa) 7,1 g/100 g (Fineli 2017c) tai härkäpavussa (*Vicia faba*, keitetty), jossa proteiinia on 7,6 g/100 g (Fineli 2017d). Tulosten perusteella tuore ja kuivattu vesirutto ei ole riittävä proteiinin lähde.

Proteiinit koostuvat 20 aminohaposta. Ihmisen elimistö ei pysty tuottamaan tiettyjä aminohappoja, joten nämä välttämättömät aminohapot on saatava ravinnosta elimistön ja elintoimintojen ylläpidon ja kehityksen turvaamiseksi. Aikuiselle välttämättömät aminohapot ovat isoleusiini, leusiini, lysiini, metioniini, fenyylialaniini, treoniini, tryptofaani ja valiini. Jokaisen välttämättömän aminohapon tarve on 0,5–1,5 g/vrk. (Mutanen & Voutilainen 2012a)

Vesiruton aikuiselle ihmiselle välttämättömien aminohappojen (tryptofaania ei mitattu) pitoisuudet (Taulukko 25) ovat keskimäärin noin puolet härkäpavun vastaavien aminohappojen pitoisuuksista lukuun ottamatta metioniinia, jonka pitoisuus vesirutossa oli hiukan korkeampi. Siltikin metioniini olisi ravitsemuksellisesti rajoittavin aminohappo.

Proteiinilähteiden käyttökelpoisuus riippuu proteiinin biologisesta arvosta. Kyseinen arvo tarkoittaa, kuinka hyvin keho pystyy käyttämään niiden sisältämän typen. Maidon ja kananmunan proteiinien biologinen arvo on korkea. Kasvikunnan tuotteiden proteiinin ja aminohappojen biologinen arvo (ts. imeytymistehokkuus) on yleensäkin alhaisempi kuin eläinkunnan tuotteiden. (Mutanen & Voutilainen 2012a.) Vesiruton proteiinin ja sen sisältämien aminohappojen biologista arvoa ei tunneta, mutta edellisen perusteella voidaan olettaa, että käytännössä välttämättömien aminohappojen saanti vesirutosta olisi vähäinen tai häviävän pieni.

Taulukko 25. Vesiruton aikuiselle ihmiselle välttämättömien aminohappojen (ei tryptofaanin) pitoisuus g/kg ka verrattuna härkápavun vastaaviin.

Aminohappo	Vesirutto g/ka ka	Härkápapu g/ kg ka ¹⁾
Isoleusiini	5,4	11,5
Leusiini	10,4	21,8
Lysiini	6,8	18,5
Metioniini + (kysteiini)	3,4 + (1,7) = 5,1	2,7 + (2,6) = 5,3
Fenyylialaniini + (tyrosiini)	6,9 + (5,7) = 12,6	12,5 + (9,7) = 22,2
Treoniini	6,0	10,6
Valiini	7,2	12,7

¹⁾ Lizarazo ym. 2015

6.3.1.2 Rasva- ja välttämättömien rasvahappojen pitoisuudet

Rasvalla ja yksittäisillä rasvahapoilla on ihmisen elimistön toiminnan kannalta monia elintärkeitä tehtäviä; ne osallistuvat muun muassa lipidien kuljetukseen sekä solukalvon fosfolipidien rakenteen ylläpitämiseen (välttämättömiä kaikkien kudosten toiminnalle) ja ne toimivat energian lähteenä. Rasvakudokseen varastoituneena ne suojelevat sisäelimiä sekä toimivat lämmön eristäjänä. (Margariinitiedotus ja Ravitsemusterapeuttien yhdistys r.y.)

Rasvahapoista välttämättömiä ovat linoli- (18:2n-6) ja alfa-linoleenihappo (18:3n-3, ALA). Linolihapon tehtävät ovat sen toimiminen ihon rakenteessa sekä arakidonihapon lähtöaineena. Molemmat edellä mainitut hapot ovat tärkeitä ihon normaalin toiminnan kannalta (Mutanen & Voutilainen 2012b). Alfa-linoleenihappo toimii pitkäketjuisten rasvahappojen (esimerkiksi eikosapentaenihappo EPA; dokosaheksaenihappo DHA) lähtöaineena. EPA toimii eikosanoidien (hormoninkaltaisia yhdisteitä) lähtöaineena. Eikosanoidit säätelevät muun muassa verenpainetta, verihiutaleiden kasaantumista sekä tulehdus- ja immunologisia reaktioita. DHA toimii solukalvojen fosfolipidien rakennusaineena erityisesti hermostossa ja verkkokalvolla. (Margariinitiedotus ja Ravitsemusterapeuttien yhdistys r.y.)

Vesiruttonäytteiden keskimääräinen rasvapitoisuus oli 0,03 g/100 g (tuorepaino), ja rasvapitoisuudet vaihtelivat näytteiden kesken suuresti (Taulukko 26). Vertailun vuoksi mainittakoon, että esimerkiksi lehtisalaatin (*Lactuca sativa* var. *crispa*) rasvapitoisuus on 0,2 % (Fineli 2017e). Vesiruton rasvapitoisuus on häviävän pieni eikä sillä ole käytännön merkitystä.

Taulukko 26. Tuoreiden vesiruttonäytteiden rasvapitoisuudet näytteenottokehteittäin.

Näytteenottopaikka	Rasvapitoisuus g /100 g
Torankijärvi	0,0078
Kuusamojärvi	0,021
Yli-Kitka	0,050
Keskiarvo	0,026

Välttämättömiä rasvahappoja linoli- ja alfa-linoleenihappoa todettiin olevan 13,6 ja 28,5 % rasvahappojen määrästä, mutta niillä ei ole käytännön merkitystä vähäisen rasvapitoisuuden vuoksi.

6.3.1.3 Kivennäisaineet

Kivennäisaineita tarvitaan elimistön toimintojen ylläpitoon ja säätelyyn. Lisäksi tietyt kivennäisaineet toimivat elimistön rakenteissa, kuten luukudoksessa. Kivennäisaineet jaetaan niiden elimistössä esiintyvän määrän ja päivittäisen tarpeen mukaan makrokivennäisaineisiin ja hivenalkuaineisiin (Freese & Voutilainen 2012). Tässä yhteydessä tarkasteltiin tiettyjen kivennäisaineiden pitoisuuksia vesirutossa.

Vesirutosta määritettyjen kivennäisaineiden pitoisuudet on esitetty Taulukossa 27. Kuiva vesirutto näyttäisi olevan keskimäärin suhteellisen hyvä kivennäisaineiden (Ca, P, Mg, Zn) lähde merilevään (kombu, kuivattu *Laminaria* spp., kuiva-ainepitoisuus ei ole tiedossa, (Fineli 2017c) verrattuna; magnesiumin osalta kuiva vesirutto olisi 7,5-kertaa parempi lähde. Vesiruton rautapitoisuus näyttäisi olevan jopa 15,5-kertaa ja kaliumpitoisuus 7,5-kertaa suurempi kuin merilevän. Tuoreessa vesirutossa kivennäisaineiden pitoisuudet ovat noin kymmenesosa kuivan kasvin pitoisuuksista.

Kivennäisaineiden pitoisuuksien absoluuttiset arvot eivät välttämättä anna oikeaa kuvaa, vaan kivennäisaineiden riittävää ja turvallista saantia tarkasteltaessa on huomioitava kivennäisaineiden imeytymistehokkuus ja myrkyllisyys.

Imeytymistehokkuus vaihtelee kivennäisaineittain ja ruoka-aineittain. Ruoan sinkistä imeytyy noin kolmannes. Kalsiumista imeytyy aikuisella normaalisti noin 20–45 %. Esimerkiksi sama määrä imeytävää kalsiumia saadaan kahdesta siivusta (noin 30 g) juustoa ja 20 dl:sta (1 kg) pinaattia. Rautaa imeytyy lihasta 15–35 % (hemirauta) ja kasvikunnan tuotteista 1–20% (ei-hemirauta). (Freese & Voutilainen 2012.) Näin vesirutosta voisi teoriassa imeytyä kalsiumia noin 309–694 mg ja rautaa noin 2–40 g /100 g kuiva-ainetta (ka).

Kivennäisaineiden puutteen lisäksi niiden liikasaanti saattaa johtaa vakaviin terveydellisiin seurauksiin, jopa kuolemaan. Kalsiumin turvallisen saannin yläraja terveillä aikuisilla on 2500 mg vuorokaudessa, fosforin 5000 mg, kaliumin 3700 mg (vain valmisteen tai täydentämisen muodossa), raudan 25 mg (ruoasta saatava rauta + korkeintaan 10 mg saanti valmisteesta), sinkin 25 mg sekä kuparin 5 mg vuorokaudessa (VRN 2014). Terveille ihmisille ruoasta saatava magnesium ei suurinakaan annoksina johda myrkytysoireisiin, mutta akuutin sinkkimyrkytyksen saa aikaan 200 mg:n kerta-annos (Freese & Voutilainen 2012).

Vesiruton rautapitoisuus näyttäisi olevan hyvin korkea. Mikäli teoriassa vesirutosta imeytyisi rautaa noin 2–40 g/100 g ka, raudan turvallisen saannin kannalta kuivaa (oletettu ka 90 %) vesiruttoa saisi syödä korkeintaan noin 400 g/vrk edellyttäen, että rautaa ei tuolloin saisi muista elintarvikkeista. Myös kaliumpitoisuus näyttäisi olevan korkea. Turvallisen saannin kannalta kuivaa vesiruttoa voisi syödä teoreettisesti tarkasteltuna korkeintaan noin 100 grammaa/vrk edellyttäen, että kalium imeytyisi täydellisesti ja kaliumia ei tuolloin saisi muista elintarvikkeista.

Vesiruton mangaanipitoisuus oli korkea (963 mg/100 g ka ja 87 mg/100 g tuorepaino) ja se vaihteli suuresti eri järvistä otetuissa näytteissä. Mangaani saadaan ravinnosta yleensä riittävästi (Freese & Voutilainen 2012). Mangaanin riittäväksi aikuisen saanniksi EFSA (2013) on ehdottanut 3,0 mg/vrk. Ravinnon kautta saadulle mangaanin määrälle ei ole asetettu ylärajaa. Suurina pitoisuuksina sen tiedetään olevan neurotoksinen, ja vaikutukset lapsiin ovat osittain samanlaisia kuin lyijyn vaikutukset. Toistaiseksi tuntemattomasta syystä mangaanin on todettu olevan juomavedessä haitallisempaa kuin ravinnosta saatuna (Komulainen 2014). Ei tiedetä, miten paljon mangaania imeytyisi vesirutosta.

On myös huomioitava, että tässä esitetyt tulokset ovat vain kolmen eri järvestä otetun yhden näytteen keskiarvotuloksia. Lisäksi on otettava huomioon, että pitoisuudet voivat vaihdella hyvinkin paljon eri paikoilla kasvaneissa kasveissa.

Taulukko 27. Valittujen kivennäisaineiden pitoisuudet vesirutossa (kolmen näytteen keskiarvo) verrattuna härkäpavun ja merilevän vastaaviin mg/100 g tuotetta sekä suositeltavaan päivittäiseen saantiin 31–60 -vuotiailla sekä turvalliseen saantiin aikuisilla

Kivennäisaine	Vesirutto mg/100 g ka	Vesirutto mg/100 g (tuore)	Merilevä * mg/100 g (kuivat- tu)	Suositeltava saanti mg/pv, 31 - 60 -vuotiaat **		Turvallisen saan- nin yläraja mg/vrk **
				miehet	naiset	
Kalsium, Ca	1543	139	900	800	800	2500
Fosfori, P	328	29	210	600	600	5000
Kalium, K	3407	307	450	3500	3100	3700 a
Magnesium, Mg	291	26	610	350	280	Ruoasta saatava Mg ei aiheuta myrkytysoireita
Rauta, Fe	197	18	12,7	9	15	25 b
Sinkki, Zn	3,6	0,3	6,2	9	7	c
Kupari, Cu	0,32	0,03		0,9	0,9	5

* kombu, kuivattu Laminaria spp., Fineli 2017c

** VRN, Valtion Ravitsemusneuvottelukunta 2014.

a: vain valmisteiden tai täydentämisen muodossa

b: ruoasta saatava rauta + korkeintaan 10 mg valmisteista

c: sinkkimyrkytyksen saa aikaan 200 mg:n kerta-annos (Freese & Voutilainen 2012).

6.3.1.4 Vitamiinit

E-vitamiinin (rasvaliukoinen) pitoisuus perustuu elintarvikkeen alfatokoferolipitoisuuteen. E-vitamiini pitää yllä solukalvon rakennetta. Lisäksi se toimii antioksidanttina suojaten elimistön monityydyttymättömiä rasvahappoja vapailta radikaaleilta ja hapettumiselta. Hyviä E-vitamiinin lähteitä ovat esimerkiksi kasviöljyt ja täysjyvävilja. (Fineli 2017a.)

Tuoreen vesiruton E-vitamiinipitoisuus (alfatokoferoliekvivalenttina) oli keskimäärin 2,6 mg/100 g (tuorepaino), joka on verrattavissa tuoreen vihreän paprikan E-vitamiinipitoisuuteen (Taulukko 28).

Taulukko 28. Tuoreen vesiruton E-vitamiinipitoisuus (alfatokoferoliekvivalenttina) verrattuna valittujen elintarvikkeiden E-vitamiinipitoisuuteen

Tuote	E-vitamiinipitoisuus mg/100 g
Vesirutto	2,6 (tuorepaino)
Auringonkukkaöljy	62,2* (tuorepaino)
Basilika, kuivattu	10,7** (kuivapaino)
Ruisjauho, kokojyväjauho (<i>Secale cereale</i>)	1,0*** (kuivapaino)
Paprika, vihreä (<i>Capsicum annuum</i>)	2,2**** (tuorepaino)

*<https://fineli.fi/fineli.fi/elintarvikkeet?foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=component&sortOrder=desc&component=2299&offset=0>

**<https://fineli.fi/fineli.fi/elintarvikkeet?foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=component&sortOrder=desc&component=2299&offset=50>

*** <https://fineli.fi/fineli.fi/elintarvikkeet/100>

****<https://fineli.fi/fineli.fi/elintarvikkeet/387?foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=component&sortOrder=desc&component=2299&offset=500&>

6.3.1.5 Karotenoidit

Karotenoidit ovat fytokeemikaaleja, luonnon laajimmin levinneitä pigmenttejä. Karotenoidien pitoisuus hedelmissä ja vihanneksissa vaihtelee kasvilajin, kypsyyssasteen, sadonkorjuuajan sekä kasvu- ja varastointiolosuhteiden mukaan. Rakenteeltaan erilaisia karotenoideja on identifioitu yli 750 (Zakynthinos & Varzakas 2016). Karotenoidit ovat väriltään keltaisia, vihreitä, punaisia tai oransseja väriyhdisteitä. Ne toimivat kasvukunnan tuotteissa hapettumista ehkäisevinä yhdisteinä (antioksidantti) (Fineli 2017b). Karotenoideja käytetään turvallisina, luonnollisina väriaineina elintarvikkeissa, rehussa sekä kosmetiikassa. Ihmisen ravitsemuksessa ne toimivat antioksidanttina ja osa niistä toimii A-vitamiinin esiasteena. Karotenoidien on todettu vähentävän sydän- ja verisuonitautien sekä syövän riskiä (Zakynthinos & Varzakas 2016).

Tuoreen vesiruton karotenoidipitoisuus oli keskimäärin 141,6 µg/100 g (Taulukko 29). Verrattuna hyviin karotenoidilähteisiin ja ravitsemuksessa tavanomaisesti käytettyihin elintarvikkeisiin vesiruton karotenoidipitoisuus on vähäinen eikä sillä siten olisi ravitsemuksellista merkitystä.

Taulukko 29. Vesiruton karotenoidipitoisuus verrattuna hyviin karotenoidilähteisiin.

Tuote	Karotenoidipitoisuus µg/100 g
Vesirutto (<i>E. canadensis</i>)	141,6
Porkkana (<i>Daucus carota</i>), tuore	11 326,1*
Porkkana, (<i>Daucus carota</i>), kuivattu	98 87,8 **
Paprika, vihreä (<i>Capsicum annuum</i>)	4 192,7***
Tomaatti (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	4 106,2 ****

* <https://fineli.fi/fineli.fi/elintarvikkeet/300>

** <https://fineli.fi/fineli.fi/elintarvikkeet/302>

***<https://fineli.fi/fineli.fi/elintarvikkeet/387?foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=component&sortOrder=desc&component=2299&offset=500&>

****<https://fineli.fi/fineli.fi/elintarvikkeet/352?q=tomaatti&foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=name&sortOrder=asc&component=2331&>

6.3.1.6 Flavonoidit

Polyfenolit ovat kasvien sekundaarimetaboliitteja, ja niitä esiintyy laajasti syötävissä kasveissa. Näistä esimerkkinä mustaherukan väriaineet antosyanidit (syaniidiini ja delfinidiini) (Mattila ym. 2016). Vesiruton keskimääräinen flavonoidipitoisuus oli 90,3 mg /100 g (tuorepaino).

Polyfenolit on todettu voimakkaiksi antioksidanteiksi *in vitro* -tutkimuksissa, ja niillä on todettu edullisia terveysvaikutuksia, kuten vähentynyt riski sairastua sydän- ja verisuonitauteihin, syöpiin ja diabetekseen (Mattila ym. 2016).

Tuoreen vesiruton antioksidatiivisuus oli keskimäärin 3891 µmol/100 g, joka on lähes tuoreen basilikan veroinen, mutta lähes 2,5-kertaa alempi kuin mustikan (Taulukko 30). Mikäli vesiruttoa voisi käyttää elintarvikkeena, sitä käytettäisiin todennäköisimmin kuivana. Kuivan vesiruton antioksidatiivisuudesta ei ole tietoa.

Taulukko 30. Vesiruttonäytteiden antioksidatiivisuus (ORAC TEAC µmol/100g) verrattuna valittujen elintarvikkeiden antioksidatiivisuuteen (Haytowitz & Bhagwat 2010)

Tuote	Antioksidatiivisuus (ORAC TEACµmol/100g)
Vesirutto	3891
Basilika, tuore	4805
Salaatti, vihreälehtinen	1391
Mustikka, villi	9621
Mustaherukka, eurooppalainen	7880

6.3.1.7 Vierasaineet: raskasmetallit

Elintarvikkeelle vieraalla aineella tarkoitetaan ainetta, joka joutuu elintarvikkeeseen vahingossa (muun muassa ympäristösaasteena tai torjunta-ainekäsittelyn jäämänä). Niitä ovat myös elintarvikkeiden luonnolliset haitalliset aineet (esimerkiksi alkaloidit) ja mikrobitorit (esimerkiksi hometoksiinit) (Törrönen & Mykkänen 2012). Vesirutosta näistä mahdollisista vierasaineista määritettiin raskasmetallit. Elintarvikkeissa ja talousvesissä vierasaineista raskasmetallien osalta kiinnitetään erityistä huomiota kadmiumin, lyijyn, alumiinin, arseenin, elohopean ja epäorgaanisen tinan pitoisuuksiin (Evira 2014). Vesirutosta testattiin neljä ensiksi mainittua. Tulokset on esitetty Taulukossa 31.

Taulukko 31. Alumiinin, arseenin, kadmiumin ja lyijyn pitoisuudet vesirutossa näytteenottokohteittain mg tai µg/100 g (tuorepaino), toksiset vaikutukset, sallitut enimmäismäärät elintarvikkeissa ja ravintolisissä, turvallisen saannin enimmäismäärät sekä teoreettinen turvallinen enimmäiskulutusmäärä 70 kg painoiselle henkilölle.

	Alumiini	Arseeni	Kadmium	Lyijy
Toksiset vaikutukset	Neurotoksinen, mahd. aiheuttaa Alzheimerin tautia	Epäorgaaninen As, syöpävaarallinen (IARC)	Munuaistoksinen	Keskushermosto-vaikutuksia, mm. käyttäytymishäiriöt
Pitoisuus	mg/100 g	µg / 100 g	µg / 100 g	µg / 100 g
Torankijärvi	0,6	2,5	0,16	0,31
Yli-Kitka	1,9	1,6	0,38	2,88
Kuusamojärvi	4,8	1,8	0,39	2,31
Keskiarvo	2,4	2,0	0,31	1,83
Sallittu enimmäismäärä elintarvikkeissa ja ravintolisissä*	Ei raja-arvoa elintarvikkeille, mutta kylläkin elintarvikkeissa käytettyille lisäaineille, juomavedessä 0,20 mg/l	Ei raja-arvoa elintarvikkeille, gelatiinissa ja kollageenissa 1 mg/kg, juomavedestä 10 µg/l	0,05–3,0 mg/kg tuotetta, gelatiinissa ja kollageenissa 0,5 mg/kg	0,02–3,0 mg/kg tuotetta, gelatiinissa ja kollageenissa 5 mg/kg
Saannin enimmäismäärät*	Aikuisen TWI: 1 mg/kg rp/viikko		Aikuisen TWI: 2,5 µg/kg rp/viikko	Aikuisen PTWI: 25 µg/kg rp/kk
Teoreettinen enimmäiskulutus: 70 kg painava hlö	2,9 kg /vko	ei voida arvioida, koska ei raja-arvoa elintarvikkeille	58 kg / vko	92 kg/vko (väliaikaisesti)

* Evira 2014: Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat

TWI: Tolerable Weekly Intake, siedettävä viikoittainen saanti elinikäisen altistumisen yhteydessä

PTMI: Provisional Tolerable Monthly Intake, väliaikainen korkein siedettävä kuukausisaanti

PTWI: Provisional Tolerable Weekly Intake, Väliaikainen korkein siedettävä viikoittainen saanti

Kadmium (Cd) luokitellaan ympäristömyrkyksi. Se esiintyy elintarvikkeissa epäorgaanisina suoloina. Terveystieteelliset haittavaikutukset kohdistuvat munuaistoiminnan heikentymiseen. Lainsäädännössä on asetettu kadmiumin sallitut enimmäismäärät eri elintarvikkeille ja ravintolisille; sallitut pitoisuudet vaihtelevat 0,050–3,0 mg/kg tuotetta. Gelatiinin ja kollageenin kadmiumin sallittu enimmäismäärä on 0,5 mg/kg (Evira 2014). Korkein siedettävä aikuisen saanti on määritelty seuraavasti: TWI (Tolerable Weekly Intake, siedettävä viikoittainen saanti elinikäisen altistumisen yhteydessä = 2,5 µg/kg ruumiinpaino/viikko ja PTMI (Provisional Tolerable Monthly Intake, väliaikainen korkein siedettävä kuukausisaanti) = 25 µg/kg ruumiinpaino/kuukausi. (Evira 2014)

Testattujen vesiruttonäytteiden kadmiumpitoisuus oli vähäinen: keskimäärin 0,003 mg/kg eli 3,0 µg/kg (tuorepaino) (Taulukko 31). Teoreettisesti tarkasteltuna 70 kg painava henkilö voisi kadmiumpitoisuuden määrällä arvioituna syödä tuoretta vesiruttoa noin 58 kg viikossa. Näiden tulosten perusteella raskasmetallien osalta kadmium ei näyttäisi olevan erityinen ongelma.

Lyijy (Pb) luokitellaan ympäristömyrkyksi. Elintarvikkeissa se esiintyy epäorgaanisina suoloina. Lyijy kertyy luuhun (90 %), jonkin verran maksaan ja munuaisiin. Se aiheuttaa lapsilla keskushermostovaikutuksia: muun muassa käyttäytymishäiriöt, ikääntymismerkkien aikaistuminen sekä älykkyyssosamäärän heikentyminen. Lainsäädännössä on asetettu lyijyn sallitut enimmäismääristä eri elintarvikkeille ja ravintolisille; sallitut enimmäispitoisuudet vaihtelevat 0,02–3,0 mg/kg tuotetta. Lisäksi gelatiinille ja kollageenille on säädetty lyijyn jäämärajaaksi 5 mg/kg. Lyijyn korkeimmaksi siedettäväksi aikuisen saanniksi PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake, Väliaikainen korkein siedettävä viikoittainen saanti) on määritelty 25 µg/kg ruumiinpaino/viikko. Lasten lyijyn saannille ei tunneta turvallista pitoisuutta. (Evira 2014)

Testattujen vesiruttonäytteiden lyijypitoisuus oli vähäinen: 0,018 mg/kg eli 18 µg/kg (tuorepaino) (Taulukko 31). Teoreettisesti tarkasteltuna 70 kg painava henkilö voisi lyijypitoisuuden määrällä arvioituna syödä vesiruttoa noin 97 kg viikossa.

Arseenia (As) on kaikkialla elinympäristössä. Luonnossa sitä on sekä epäorgaanisina että orgaanisina yhdisteinä. Epäorgaaniset arseeniyhdisteet ovat terveydelle haitallisempia kuin orgaaniset yhdisteet. Kansainvälinen syöväntutkimusjärjestö IARC luokittelee epäorgaanisen arseenin syöpävaarallisiin yhdisteisiin. Lähes kaikissa elintarvikkeissa on pieniä määriä arseenia. Porakaivovesi on tärkein epäorgaanisen arseenin lähde Suomessa. Elintarvikkeille ei ole asetettu lainsäädännössä enimmäispitoisuuksia. Juomaveden arseenin sallittu enimmäispitoisuus on 10 µg/l. Gelatiinin ja kollageenin arseenin sallittu enimmäismäärä on 1 mg/kg. (Evira 2014)

Vesiruton arseenipitoisuus oli keskimäärin 0,02 mg/kg eli 20 µg/kg (tuorepaino). Vuonna 2004 on arvioitu, että maidon arseenipitoisuus on 0,002 mg/kg ja siitä saatu arseenin määrä 0,84 µg/kg kulutuksen ollessa 420 g/vrk. Vastaavasti kirjolohen arseenipitoisuus on 1,010 mg/kg ja siitä saatu arseenin määrä 7,78 mg/vrk kulutuksen ollessa 7,7 g/vrk. (Evira 2014).

Alumiini (Al) on yleinen maaperässä. Alumiinia ja sen yhdisteitä käytetään erilaisiin tarkoituksiin, kuten keittiötarvikkeiden valmistukseen, elintarvikkeiden pakkaukseen ja lisäaineiden valmistukseen, juomaveden puhdistuksessa. Alumiini on neurotoksinen ja mahdollisesti saattaa aiheuttaa Alzheimerin taudin kaltaista dementiaa. Elintarvikkeissa alumiinille ei ole säädetty enimmäismäärää, mutta se on säädetty alumiinia sisältävien lisäaineiden käytölle eri elintarvikkeissa. Juomavedelle on annettu laatusuositus 0,20 mg/l. Alumiinin korkeimmaksi siedettäväksi viikoittaiseksi saanniksi TWI (Tolerable Weekly Intake, elinikäisen altistumisen yhteydessä) on määritelty 1 mg/kg ruumiinpaino/viikko. (Evira 2014)

Vesiruton alumiinipitoisuus oli keskimäärin 24,4 mg/kg. Teoreettisesti tarkasteltuna 70 kg painava henkilö voisi alumiinipitoisuuden määrällä arvioituna syödä tuoretta vesiruttoa noin 2,9 kg viikossa elinikänsä aikana.

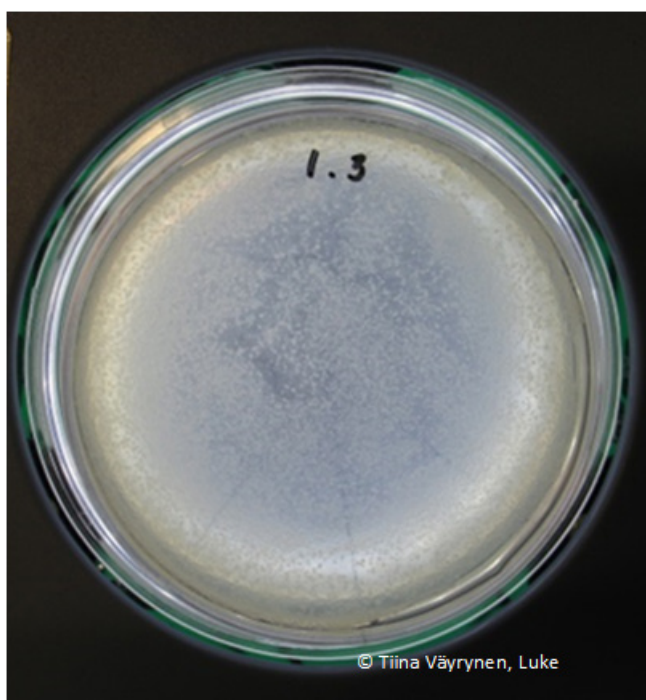
Testattujen raskasmetallipitoisuuksien osalta esitetyt tulokset ovat vain suuntaa antavia, sillä ne ovat vain kolmen eri järvestä otetun yhden näytteen keskiarvotuloksia. Lisäksi on otettava huomioon, että pitoisuudet voivat vaihdella hyvinkin paljon eri paikoilla kasvaneissa luonnonkasveissa. Teoreettisesti tarkasteltuna alumiini näyttäisi olevan rajoittavin tekijä tutkittujen raskasmetallien saannin kannalta.

6.3.2 Mikrobiologiset määritykset

6.3.2.1 Mikrobimääristä yleisesti

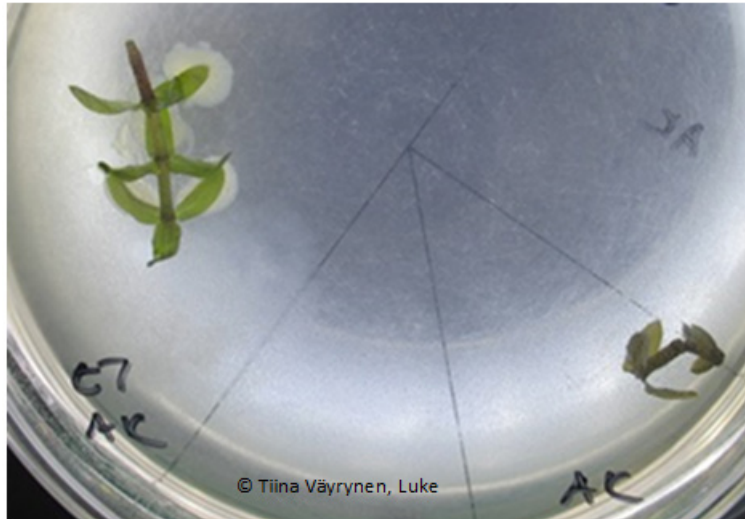
Elintarvikelain (23/2006) mukaan elintarvikkeiden tulee mikrobiologiselta laadultaan olla ihmisravinnoksi soveltuvia, eivätkä ne saa aiheuttaa vaaraa ihmisen terveydelle. Vesirutossa voisi oletettavasti olla vesistöjen normaalia sekä valumien ja yhdyskuntajätteen mukana tulevaa mikrobistoa, josta osa on todennäköisesti erittäin haitallista ihmiselle. Lainsäädännössä ei kuitenkaan ole erikseen asetettu luonnonkasveille mikrobiologisia raja-arvoja, minkä vuoksi yksittäisten mikrobien pitoisuuksia ei testattu. Vesiruton mikrobiologinen turvallisuus jäi siten todentamatta.

Sen sijaan yleiskuvan saamiseksi mikrobien esiintymistä vesirutossa testattiin NA -kasvatusalustalla, jolla saadaan esille aerobisesti kasvavia mikrobeja (Kuva 28). Näyte laimennettiin NB -kasvatusalustaan suhteessa 1/8. Erilaisia mikrobilajeja ei voi erottaa tiheästä kasvustosta.



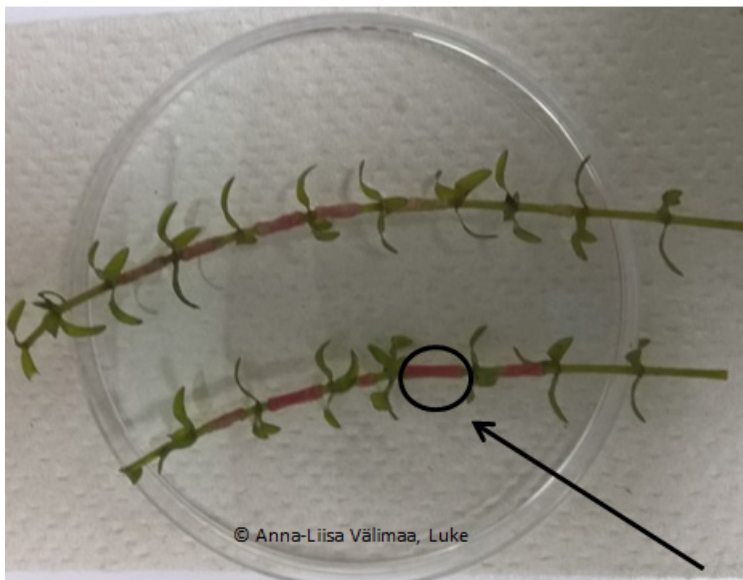
Kuva 28. Vesirutosta lähtevän veden bakteerikasvustoa NA-kasvatusalustalla. Näyte laimennettiin NB-kasvatusalustaan suhteessa 1/8. Kuva: Tiina Väyrynen, Luke

Kasvunestovaikutuksia testattaessa ilmeni, että vesiruttokasvin pinnalla kasvaa limamaisia bakteereita (Kuva 29).



Kuva 29. Kasvunestovaikutuksia testattaessa ilmeni, että vesiruton pinnalla kasvaa limamaista bakteerikasvustoa. Maljalla on tuoreen, autoklavoimattoman (EI AK) vesiruttokasvin osia. Kuva: Tiina Väyrynen, Luke

Näytteenoton yhteydessä ilmeni, että mikrobi voi kasvaa hyvin kiinteästi vesiruttokasvin pinnalla (Kuva 30). Kyseinen bakteeri osoittautui gramnegatiiviseksi sauvaksi. Havaittuja mikrobeja (Kuvat 29–30) ei ollut budjettisyyistä mahdollista tarkemmin identifioida ja karakterisoida.



Kuva 30. Bakteerikasvustoa (punainen) vesiruttokasvin varsistossa Kuva: Anna-Liisa Välimaa, Luke.

6.3.2.2 Antimikrobiset vaikutukset

Kirjallisuuden mukaan vesirutolla on antimikrobisia vaikutuksia; se estää syanobakteerien kasvun (Erhard & Gross 2006). Erhard & Gross (2006) havaitsivat sen aiheutuvan vesiruton erittämistä kemiallisista yhdisteistä. Mikäli esimerkiksi vesiruton pinnalla elävät bakteerien tuottamat yhdisteet myös aiheuttaisivat syanobakteerien estovaikutuksen, voisivat ne mahdollisesti estää elintarvikepatogeenienkin kasvun. Vesiruton bakteerien kasvua estävä vaikutus testattiin tiettyjä ruokamyrkytyksiä ja elintarvikeinfektioita aiheuttavia elintarvikepatogeeniä vastaan. Kyseiset bakteerit ovat yleisimpiä ja/tai vaarallisia taudinaiheuttajia Euroopan unionin (EU) alueella (EFSA 2016).

Tulosten mukaan vesirutolla ei ole antimikrobista vaikutusta seuraaviin malliorganismeina käytettyihin bakteereihin testatuissa olosuhteissa, sillä niiden kasvu ei estynyt:

- *E. coli* ATCC 25922
- *S. abony*
- *S. aureus* ATCC 25923
- *B. cereus* ATCC 14579 (esimerkkinä Kuvassa 31).



Kuva 31. Vesiruton kasvunestovaikutuksen testaus NA-agarmaljoilla *B. cereus* ATCC14579 -kanta vastaan. Kasvunestovaikutusta ei havaittu, kuten ei muillakaan edellä mainituilla testatuilla kannoilla. Vasemman kuvan kaivot: 1 kontrolli (steriili vesi), 2 vesirutosta lähtevä vesi, 3 autoklavoitu vesirutosta lähtevä vesi, 4 vesirutosta lähtevällä vedellä ympätty kasvatusliemi ja 5 vesiruttokasvilla ympätty kasvatusliemi. Kuvassa oikealla tuore kasvi: EI AK: autoklavoimaton ja AK: autoklavoitu. Kuvat: Tiina Väyrynen, Luke

L. monocytogenes ATCC 19111 ja *L. monocytogenes* ATCC 13932 -bakteerien osalta kasvunestovaikutusten tulokset eivät olleet yksiselitteisiä. Testatuissa olosuhteissa vain vesiruttokasvissa olevat mikrobit kasvoivat maljoilla. Todennäköisesti ne saivat kasvuedun hitaasti kasvaviin *L. monocytogenes* -bakteereihin nähden. Siten antimikrobisia vaikutuksia edellä mainittuihin bakteereihin ei voitu todeta.

6.3.3 Uuselintarvikkeeseen liittyvää lainsäädäntöä

Luonnonvaraisten kasvien kaupallinen toiminta (esimerkiksi kasvien tai tuotteiden myynti tai tarjoaminen ravintolassa) kuuluu elintarvikelainsäädännön piiriin. Toimija vastaa siitä, että markkinoille saatetut elintarvikkeet ovat turvallisia ja määräysten mukaisia, eivätkä ne johda kuluttajaa harhaan. Elintarvikkeita koskevaan lainsäädäntöön kuuluvat muun muassa seuraavat:

- yleinen elintarvikeasetus 178/2002/EY
- elintarvikelaki 23/2006
- hygienialainsäädäntö (mm. (EY) N:o 852/2004, 1368/2011)
- elintarviketietoasetus (EU) N:o 1169/2011.

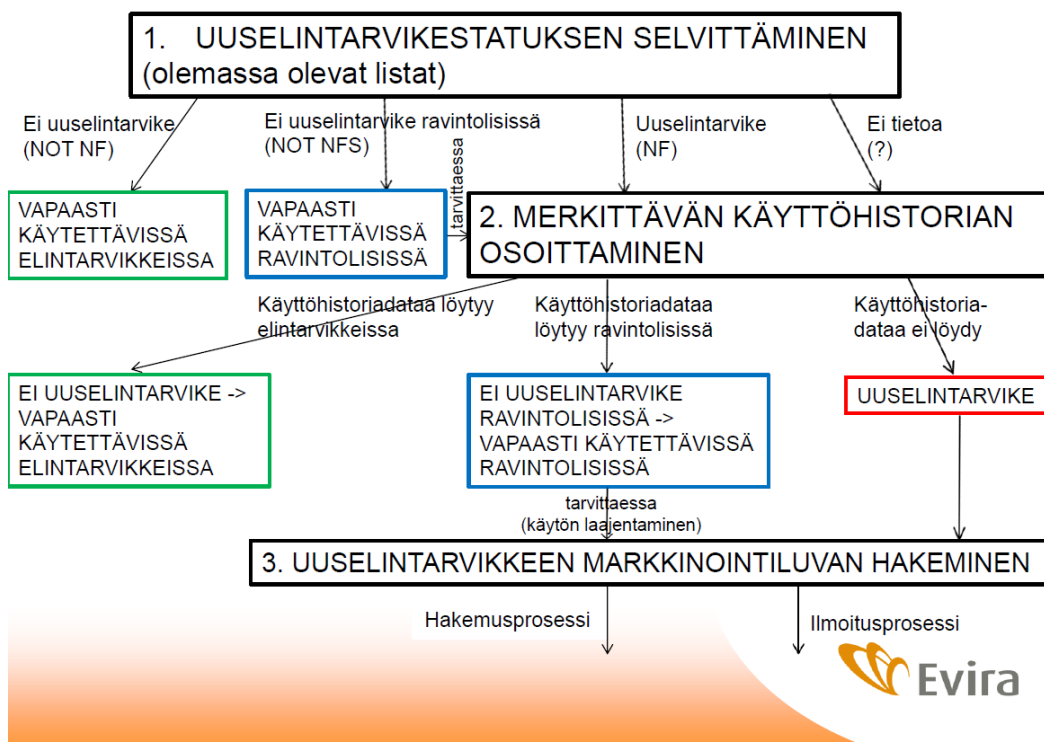
Luonnonvaraisten kasvien kohdalla tulee lisäksi ottaa huomioon

- ravitsemus- ja terveysväiteasetus (EY) N:o 1924/2006 ja erityisesti

- uuselintarvikeasetus (EU) N:o 2015/2283. (Viljakainen 2016.)

Uuselintarvikeasetuksessa (EU) N:o 2015/2283 uuselintarvikkeella tarkoitetaan: ”mitä tahansa elintarviketta, jota ei käytetty unionissa merkittävässä määrin ihmisravinnoksi ennen 15 päivää toukokuuta 1997”.

EU:n alueelle markkinoille aiotusta uudesta tuotteesta on selvitettävä uuselintarvikestatus (Kuva 32). Mikäli tuotteella on ollut merkittävää elintarvikekäyttöhistoriaa EU:n alueella jo ennen toukokuuta 1997, sitä ei luokitella uuselintarvikkeeksi. Elintarvikealan toimijalla on vastuu selvittää ja tarvittaessa todistaa käyttöhistoria ennen kyseistä ajankohtaa. Elintarvikelain (23/2006, 16 §) mukaan hän itse on myös vastuussa tuotteen turvallisuudesta ja elintarvikkeita koskevien määräysten mukaisuudesta. (Evira 2017)



Kuva 32. Uuselintarvikeprosessin kulku. (Evira 2016a). <https://www.evira.fi/globalassets/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/uuselintarvikkeet/kaaviokuva.pdf>

Uuselintarvikestatus muodostetaan yhteistyössä EU:n uuselintarvikeasiantuntijoiden kanssa sen hetkisen tiedon ja käytettävissä olevan materiaalin perusteella. Näitä julkisia tietolähteitä ovat muun muassa Euroopan komission ylläpitämä uuselintarvikeluettelo (Novel Food Catalogue), Nettox-kasviluettelo, BELFRIT-lista sekä Eviran lista suomalaisten luonnonvaraisten kasvien elintarvikekäytöstä. Nettox-kasviluettelo on lista syötävistä kasveista. Lista on hyväksytty EU:ssa myös listaksi kasveja, jotka pääsääntöisesti eivät ole uuselintarvikkeita. BELFRIT-listaan on yhdistetty Belgian, Ranskan ja Italian listat ravintolisissa sallituista tai kielletyistä kasveista. Eviran listaan suomalaisten luonnonvaraisten kasvien elintarvikekäytöstä on koottu elintarvikekäytön kannalta tärkeimmät suomalaiset luonnonvaraiset kasvit ja kasvinosat sekä perinnetietoon ja toimijoiden antamiin tietoihin käyttöhistoriasta perustuva tieto pienimuotoisesta käytöstä elintarvikkeena Suomessa ennen vuotta 1997. (Evira 2017.)

Vesiruton elintarvikekäyttöä ei ole mainittu uuselintarvikeluettelossa (European Commission 2015), Nettox-kasviluettelossa (Pilegaard ym. 2007), BELFRIT-listalla eikä Eviran listalla suomalaisten luon-

nonvaraisten kasvien elintarvikekäytöstä (Evira 2016b). Näin ollen vesirutto luokiteltaisiin uuselintarvikkeeksi, joka voisi päästä EU:n markkinoille hakemusmenettelyn kautta. Kyseistä menettelytapaa käytetään, kun uuselintarvike tulee ensimmäistä kertaa EU:n elintarvikemarkkinoille. Toimijan hakemuksen tulee sisältää selvitys tuotteen turvallisuudesta yhteisössä hyväksytyin edellytyksin. Hakemusmenettely on monivaiheinen ja aikaa vievä ensiarviointineen (Suomessa tekee maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa toimiva uuselintarvikelautakunta) ja sen jälkeen komissio konsultoi Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaista EFSAa. Hakemukset jätetään toimivaltaiselle viranomaiselle (Suomessa Elintarviketurvallisuusvirasto Evira). Uuselintarvikehakemuksen käsittely on maksullista. (Evira 2016c)

6.3.4 Kosmetiikkakäyttö

6.3.4.1 Kosmetiikan turvallisuus

Kosmetiikkaa ja sen turvallisuutta säädellään EU:n alueella kosmetiikka-asetuksella (1223/2009/EY). Lainsäädännön mukaan kosmetiikkatuotteesta vastaavan yrityksen on tehtävä kattava turvallisuusarviointi ja laadittava turvallisuusselvitys ennen niiden markkinointia. Turvallisuusarvioinnin saa tehdä vain henkilö, jolla on tehtävään riittävä pätevyys (Tukes).

Turvallisuusarvioinnissa tarkastellaan tuotteen kaikkien ainesosien ja lopputuotteen turvallisuutta. Turvallisuusvaatimus koskee kaikkia kosmetiikkatuotteita (Karine & Kurimo 2014). Tuotteesta vastaavalla yrityksellä on oltava jokaisesta kosmeettisesta valmisteesta tuotetiedot ajantasainen turvallisuusarvio mukaan luettuna. Tuotetietojen tulee olla viranomaisten saatavilla (Tukes). Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) sekä Tulli valvovat kosmetiikkaa Suomessa. Turvallisuusarvioinnissa otetaan huomioon muun muassa ainesosien vaaraominaisuudet sekä käyttömäärät ja -tavat, valmiin tuotteen fysikaalis-kemialliset ominaisuudet sekä mikrobiologinen laatu (Karine & Kurimo 2014).

Lainsäädännön mukaan kosmetiikkatuotteen mikrobiologinen puhtaus on taattava koko tuotteen elinajan. Mikrobin (muun muassa bakteerit, hiivat ja homeet) kasvun estämiseksi kosmetiikkavalmisteisiin lisätään säilöntäaineita. Mikrobit voivat vaikuttaa sekä tuotteen turvallisuuteen että laatuun. Patoogeeniset bakteerit, kuten *S. aureus*, voivat aiheuttaa tulehduksia iholla. Mikrobitoiminnan aiheuttamat kemialliset muutokset voivat muuttaa tuotteen koostumusta, ulkonäköä tai tuoksua (Kurimo & Suuronen 2014). Sallitut synteettiset säilöntäaineet ja niiden sallitut pitoisuudet on lueteltu kosmetiikka-asetuksen 1223/2009/EY liitteessä V.

Luonnonkosmetiikka on saavuttanut yhä suurempaa suosiota viime vuosina. Myös siinä on käytettävä säilöntäaineita tuotteen turvallisuuden takaamiseksi. Tällöin synteettiset säilöntäaineet eivät ole sallittuja (Pro Luonnonkosmetiikka ry 2017).

Kosmetiikkatuotteet ovat oivallinen mikrobien kasvualusta; ne sisältävät vettä ja ravinteita ja happamuus (pH) on suotuisa. Lisäksi lämpötila on sopiva varsinkin mesofiilisille mikrobeille. Yksi merkittävimmistä kosmetiikkatuotteiden mikrobikontaminaation aiheuttajista on ihminen itse. (Kurimo & Suuronen 2014.)

Kosmetiikassa käytettävällä säilöntäaineella halutaan olevan seuraavia ominaisuuksia (Kurimo & Suuronen 2014) :

- mikrobien kasvunestoteho mahdollisimman laajakirjoisesti mahdollisimman pitkän ajan
- vesiliukoisuus, kemiallisesti muuttumaton tai hajoaminen ja toimiminen toivotulla tavalla kyseisen valmisteen pH-alueella
- eivät saa huonontaa tuotteen tehoa

- hajuttomuus ja värittömyys
- erityisesti turvallisia käyttää.

Käytännössä edellä mainittujen toivottavien ominaisuuksien aikaansaamiseksi tarvitaan useamman säilöntäaineen seos. (Kurimo & Suuronen 2014.)

Kosmetiikalle on säädetty mikrobiologiset raja-arvot aerobisten mesofiilisten bakteerien sekä hiivojen ja homeiden kokonaismäärille sekä tietyille bakteereille, kuten *E. coli*- ja *S. aureus* -bakteereille; näitä bakteereita ei saa esiintyä 1 grammassa tai millilitrassa tuotetta (SCCS 2015).

Vesiruton soveltuvuutta kosmetiikkakäyttöön säilöntäaineena ei tiettävästi aiemmin ole tutkittu. Tässä tutkimuksessa testattiin vesiruton kasvunestovaikutusta sekä gramnegatiiviseen että grampositiiviseen bakteerikantaan.

6.3.4.2 Säilöntäainevaikutukset

Tulosten mukaan eivät vesirutosta poistunut vesi eikä vesiruttokasvi estäneet grampositiivisen *S. aureus* ATCC 25923- (Kuva 33) eikä gramnegatiivisen *E. coli* ATCC 25922 -kantojen kasvua. Näiden tulosten mukaan vesirutto ei näyttäisi soveltuvan käytettäväksi säilöntäaineena kosmetiikassa kyseisten bakteerien kasvunestoon. Käytännössä kosmetiikassa haitallisten mikrobien kasvunestoon käytetään säilöntäaineiden yhdistelmiä, sillä mikään aine ei ole niin laajakirjoinen, että estäisi sekä bakteerien että hiivojen kasvua samanaikaisesti. Tutkimuksessa ei kuitenkaan testattu kasvunestovaikutusta muihin kosmetiikkaa pilaaviin bakteereihin tai hiivasieniin, kuten *Candida albicans*, joten näiden osalta estovaikutusta ei voida arvioida.

Erilaiset säilöntäaineet ovat kosmetiikassa merkittävä allergisoiva ainesosa (Kurimo & Suuronen 2014). Vesiruton mahdollisia allergisoivia vaikutuksia ei tutkittu.



Kuva 33. Vesiruton kasvunestovaikutuksen testaus *S. aureus* ATCC 25923 -kantaan NA-agarmaljoilla, inkubointi 30 °C:ssa 24 h. Estovaikutusta ei havaittu, kuten ei *E. coli* ATCC 25922 -kannallakaan. Vasemman kuvan kaivot: 1 kontrolli (steriili vesi), 2 vesirutosta lähtevä vesi, 3 autoklavoitu vesirutosta lähtevä vesi, 4 vesirutosta lähtevällä vedellä ympätty kasvatusliemi ja 5 vesiruttokasvilla ympätty kasvatusliemi. Kuvassa oikealla tuore kasvi: EI autoklavoinnaton ja AK autoklavoitu. Kuvat: Tiina Väyrynen, Luke

6.3.4.3 Antioksidanttivaikutukset

Kosmetiikkaan lisätään rasvojen hapettumisen estämiseksi antioksidantteja, kuten tokoferoleja (E-vitamiini). Antioksidanttivaikutuksen lisäksi tokoferolit toimivat ihon kunnon ylläpitoaineina. Tokoferoleja valmistetaan kaupallisiin tarkoituksiin kasviöljyistä (The 2013 Cosmetic Ingredient Review Expert Panel 2014).

Tuoreen vesiruton E-vitamiinipitoisuus (alfatokoferoliekvivalenttina) oli keskimäärin 2,6 mg/100 g (tuorepaino), kun taas esimerkiksi auringonkukkaöljyn E-vitamiinipitoisuus on 62,2 mg/100 g (tuorepaino). Teoreettisesti tarkasteltuna kasviöljyn tokoferolipitoisuus on noin 24 kertaa suurempi kuin vesiruton. Ero on käytännössä vielä suurempi, sillä vesiruton rasvapitoisuus oli häviävän pieni. Tokoferoleja ei kannata valmistaa vesirutosta kaupallisiin tarkoituksiin.

6.4 Johtopäätökset

6.4.1 Elintarvikekäyttö

Tässä tutkimuksessa vesiruton elintarvikekäyttömahdollisuuksia arvioitiin koostumuksen ja turvallisuuden osalta; vesirutosta määritettiin sen sisältämien valittujen välttämättömien ravintoaineiden (proteiini, välttämättömät aminohapot, rasva, välttämättömät rasvahapot ja tietyt kivennäisaineet, vitamiini) pitoisuudet. Lisäksi määritettiin terveydelle hyödyllisistä yhdisteistä karotenoidit ja flavonoidit. Lisäksi elintarvikkeelle vieraista aineista määritettiin tietyt raskasmetallit. Kemiallista laatua, kuten mahdollisia luontaisia toksineja (esimerkiksi alkaloidit) tai mikrobitekseenä (esimerkiksi homemyrkyt) ei mitattu. Mikrobiologista laatua määritettiin yleisellä tasolla ja testattiin vesiruton antimikrobisia vaikutuksia tiettyihin elintarvikepatogeeneihin. Vesiruton elintarvikekäyttöä ei ole tiettävästi aiemmin tutkittu, minkä vuoksi uuselintarvikeeseen ja elintarvikkeisiin liittyvää lainsäädäntöä tuotiin esille lyhyesti.

Tutkimustulosten perusteella näyttää siltä, että vesirutto sisältää proteiinia, välttämättömiä aminohappoja, rasvaa, välttämättömiä rasvahappoja vähän tai niin vähäisiä määriä, ettei niillä ole käytännön merkitystä ravinnon saannin kannalta. Toisaalta kuiva vesirutto näyttäisi olevan keskimäärin suhteellisen hyvä kivennäisaineiden (Ca, P, Mg, Zn) lähde, mutta teoreettisesti tarkasteltuna erityisesti raudan ja kaliumin pitoisuus voisi ylittää terveen aikuisen ihmisen turvallisen saannin rajan ja johtaa myrkytysoireisiin. Myös mangaanipitoisuus oli korkea. Mangaanin osalta turvallisen saannin rajaa ei voida kuitenkaan arvioida, sillä ravinnon kautta saadulle mangaanin määrälle ei ole asetettu ylärajaa.

Elintarvikkeelle vieraista aineista raskasmetalleista (alumiini, arseeni, kadmium ja lyijy) alumiini näyttäisi olevan rajoittavin tekijä turvallisen saannin kannalta teoreettisesti tarkasteltuna.

Tässä tutkimuksessa vesiruton kemiallista laatua, kuten mahdollisia luontaisia toksineja (esimerkiksi alkaloidit) tai mikrobitekseenä (esimerkiksi homemyrkyt) ei mitattu. Kirjallisuuden mukaan vesiruton alkaloidipitoisuus on korkea, ja sitä on käytetty oksetuslääkkeenä. Voitanee siten olettaa, että vesirutto ei olisi kemialliselta laadultaan turvallinen eikä siten soveltuisi ravitsemuskäyttöön.

Lainsäädännössä ei ole erikseen asetettu mikrobiologisia raja-arvoja luonnonkasveille, minkä vuoksi yksittäisten mikrobien pitoisuuksia ei testattu. Vesiruton mikrobiologinen turvallisuus jäi siten todentamatta. Sen sijaan tutkittiin vesiruton (ja mahdollisesti sen pinnalla olevien mikrobien) antimikrobisia ominaisuuksia tiettyjä yleisimpiä ja/tai vaarallisimpia Euroopan unionin EU:n alueella esiintyviä ruo-

kamyrkytyksiä ja elintarvikeinfektioita aiheuttavia elintarvikepatogeeniä vastaan. Antimikrobisia ominaisuuksia ei todettu.

Vesirutto luokiteltaisiin uuselintarvikkeeksi, joka voisi päästä EU:n markkinoille vain hakemusmenettelyn kautta. Hakemusmenettely on monivaiheinen ja aikaa vievä sekä kallis prosessi. Tutkimustulosten perusteella näyttää siltä, että vesirutto ei ole ravitsemuksellisesti niin arvokas, että sille kannattaisi hakea uuselintarvikestatusta.

Tässä tutkimuksessa toteutettu vesiruton elintarvikekäyttömahdollisuuksien arviointi on tietävästi ensimmäinen julkaistu alan tutkimus. Vaikka vielä pitäisi tutkia kemiallinen turvallisuus - luontaiset kemialliset haitta-aineet ja mikrobitoroksiinit - sekä mikrobiologinen turvallisuus (mikrobit lajikohtaisesti), voitaneen todeta, että vesirutto ei kaiken kaikkiaan näyttäisi soveltuvan elintarvikekäyttöön. Tulosten käyttökelpoisuutta arvioitaessa on kuitenkin huomioitava, että esitetyt tulokset ovat suuntaa antavia, sillä ne ovat vain kolmen eri järvestä otetun yhden näytteen keskiarvotuloksia. Lisäksi on otettava huomioon, että pitoisuudet voivat vaihdella hyvinkin paljon eri paikoilla kasvaneissa luonnonkasveissa.

Vaikka vesirutto ei tämän tutkimuksen tulosten perusteella soveltuisi elintarvikkeeksi, sen ainesosia voisi mahdollisesti käyttää farmaseuttisissa valmisteissa. Lisäksi vesiruton pinnalta löydettiin limaa (ekspolysakkarideja) tuottavia mikrobeja, jotka kannattaisi identifioida ja karakterisoida sekä tutkia niiden polymeerien tuotto-ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia esimerkiksi elintarvike-, kosmetiikka- sekä lääketeollisuudessa stabilointi-, paksuminos-, emulgointi- ja geelinmuodostusaineena.

6.4.2 Kosmetiikkakäyttö

Vesiruton soveltuvuutta kosmetiikkakäyttöön ei tietävästi aiemmin ole tutkittu. Tässä tutkimuksessa kosmetiikkakäyttömahdollisuuksia arvioitiin säilöntäaine (mikrobien kasvunesto)- ja antioksidanttikäytön osalta. Lisäksi käsiteltiin lyhyesti kosmetiikkalainsäädäntöä.

Tutkimustulosten mukaan vesirutto ei näyttäisi soveltuvan käytettäväksi säilöntäaineena kosmetiikassa tässä työssä testattujen grampositiivisen *S. aureus* ATCC 25923 tai -negatiivisen *E. coli* ATCC 25922 -bakteerin kasvunestoon. Käytännössä kosmetiikassa haitallisten mikrobien kasvunestoon käytetään säilöntäaineiden yhdistelmiä, sillä mikään aine ei ole niin laajakirjoinen, että estäisi sekä bakteerien että hiivojen kasvua samanaikaisesti. Tutkimuksessa ei kuitenkaan testattu kasvunestovaikutusta muihin kosmetiikkaa pilaaviin mikrobeihin, kuten *Candida albicans* hiivasieneen, joten näiden osalta estovaikutusta ei voida arvioida.

Tulosten käyttökelpoisuutta arvioitaessa on myös huomioitava, että esitetyt tulokset ovat suuntaa antavia, sillä ne ovat vain kolmen eri järvestä otetun yhden näytteen keskiarvotuloksia. Lisäksi on otettava huomioon, että pitoisuudet voivat vaihdella hyvinkin paljon eri paikoilla kasvaneissa luonnonkasveissa.

Erilaiset säilöntäaineet ovat kosmetiikassa merkittävä allergisoiva ainesosa. Vesiruton mahdollisia allergisoivia vaikutuksia ei tutkittu. Yhteenvetona todettakoon, että tämän tutkimuksen tulosten perusteella ei voida todeta, että vesiruttoa tai sen ainesosia ei voitaisi käyttää kauneudenhoidossa ollenkaan. Kannattaisikin tutkia sen sisältämät fytokemikaalit ja niiden soveltuvuutta muun muassa lisäksi myös lääketieteelliseen käyttöön.

7. Rehuako vesirutosta?

Hilkka Siljander-Rasi

7.1 Johdanto

Kanadanvesirutto (*Elodea canadensis*) on Suomessa vastustettava vieraslaji. Sen leviäminen luonnon-vesistöihin on haitallista, koska vesiruton massaesiintymissä vesistöjen ravinnekierto, alkuperäinen kasvillisuus ja eliöstö voivat muuttua ja vesistöjen virkistyskäyttö vaikeutuu (Kuoppala ym. 2014). Vesiruton kasvustot tarjoavat vesistöissä elinympäristön monille selkärangattomille eliöille ja suojaavat nuoria kaloja ja sammakkoeläimiä. Vesirutto on vesilintujen, etenkin sorsalintujen, majavien ja piisamiin suosisia ravintokasvi (Svendsen 1980, Spicer & Gatling 1988, Väänänen & Nummi 2003). Vesirutto on myös suosittu ja helppohoitoinen akvaariokasvi. Akvaariokäytöllä on merkittävä vaikutus vesiruton leviämisessä uusille alueille luonnossa (Bowmer ym. 1995).

Osa Suomessa esiintyvistä kaloista käyttää jonkin verran kasviravintoa, mutta vesiruton merkityksestä kotimaisten kalojen ravintona ei juuri löydy tietoa. Kasvinsyöjäkaloja on käytetty vesiruton ja muiden vesikasvien torjunnassa Aasiassa, Afrikassa ja Euroopassa alueilla, joilla nämä kalat pystyvät talvehtimaan. Esimerkiksi ruohokarpit, joita viljellään hyvin yleisesti mm. Kiinassa, suosivat vesiruttoa ravintonaan (Fowler & Robson 1978). Runsaasti kasviravintoa kuluttavien kalojen hyödyntämisessä on huomioitava myös niiden haitalliset vaikutukset vesiekosysteemien kasvillisuuteen, kalalajistoon ja ravinnetilaan (Pípalová 2006).

Tehokkaasti ravinteita sitovia vesikasveja on käytetty perinteisesti kotieläinten rehuna ja jopa ihmisravintona trooppisilla alueilla mm. Afrikassa, Kaakkois-Aasiassa ja Intiassa. Gortnerin (1934) mukaan vesiruttoa on pidetty hyvänä nautojen ja sikojen rehuna 1900-luvun alussa Saksassa ja Hollannissa. Sitä on käytetty joko tuoreena tai säilöttynä. Vesikasvien hyödyntämisestä rehuksi on kiinnostuttu erityisesti, kun muita rehuja on ollut niukasti saatavilla. Gortner (1934) tutki USA:n järvissä esiintyvän 12 eri vesikasvin ravinnepitoisuutta ja arvioi niillä olevan kaupallista arvoa rehuna suuren valkuais- ja kalsiumpitoisuuden ja pienen kuitupitoisuuden ansiosta. Vesikasvien kuiva-aineen koostumus oli verrattavissa palkokasveista tehtyyn heinään. Rehukasvien peltoviljelyn tehostuminen, kotieläintuotannon koneellistuminen ja työ kustannusten nousu ovat 1970-luvulta lähtien vähentäneet kiinnostusta vesikasvien rehukäyttöön. Vesikasvien laajamittaista rehukäyttöä vaikeuttaa niiden suuri vesipitoisuus, 85–95 % painosta, ja kasvien korjuun ja käytön työvaltaisuus (Little 1979).

Vesiruton käyttöä kuivattuna rehuseoksissa on tutkittu melko vähän. Kuivattua vesiruttoa on (kosteus 12,5 %) käytetty siipikarjan rehuissa lähinnä maissin korvaajana. Broilereille sitä voitiin käyttää 10 % rehussa ilman haittavaikutuksia. (Lizama ym. 1988). Muniville kanoille kuivattua vesiruttoa voitiin käyttää 7,5 % rehussa. Sen käytöllä oli edullinen vaikutus keltuaisen väriin (McDowell ym. 1990).

Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi -hankkeen yhtenä tavoitteena oli löytää erilaisia vesiruton hyödyntämistapoja, joiden pohjalta voitaisiin muodostaa liiketoimintaa. Tällä hetkellä vesistöistä poistetut vesiruttomassat on viety kaatopaikoille, joten hyötykäyttöä tarvitaan massaesiintymien korjuukustannusten pienentämiseksi ja ravinteiden kierrätyksen tehostamiseksi. Puhdasvetisten järvien kasvina vesiruttoa voisi mahdollisesti käyttää myös rehuna, mutta sen koostumuksesta ja käytöstä ei juuri löydy kotimaista tutkimustietoa eikä käytännön kokemuksia. Ravintoainekoostumuksen perusteella vesirutolla saattaisi olla paikallista käyttöpotentiaalia esimerkiksi porojen täydennysruokinnassa.

Tässä luvussa arvioidaan vesiruton käyttömahdollisuuksia rehuna hankkeessa tehtyjen kemiallisten analyyseiden sekä aiemmin julkaistun kirjallisuuden perusteella.

7.2 Aineisto ja menetelmät

Vesirutosta kerättiin biomassanäytteet käsin satunnaisotannalla kolmelta Koillismaan järveltä: Kuusamojärveltä (16.8.2016), Torankijärveltä ja Yli-Kitkalta (17.8.2016). Sekä ilman että veden lämpötila oli näytteenottohetkellä viileä. Kuusamojärvellä mitattu ilman lämpötila oli 10,9 °C, Torankijärvellä 12,2 °C ja Yli-Kitkalla 11,4 °C. Veden lämpötilat olivat vastaavasti 14,4 °C, 14,4 °C ja 11,4 °C.

Kunkin järven biomassanäytteistä (1000–1500 g/näyte) määritettiin heti keruun jälkeen veden valuma kahtena rinnakkaisena määrityksenä (kuva 34). Näyte kaadettiin teräslävikkoon, joka oli laatikon päällä ja punnittiin (aika 0:00). Laatikko oli punnittu tyhjänä, samoin kuin sen päälle laitettava teräslävikkö (kirjevaaka EKS 6505, tarkkuus 10 g). Teräslävikkö nostettiin pois laatikon päältä ja laatikko vesineen punnittiin 10, 15, 30, 60, 120 ja 150 min kuluttua. Valuma laskettiin kumulatiivisena prosenttilukuna aikapisteittäin (kertyneen veden kokonaismäärä / näytteen paino alussa).



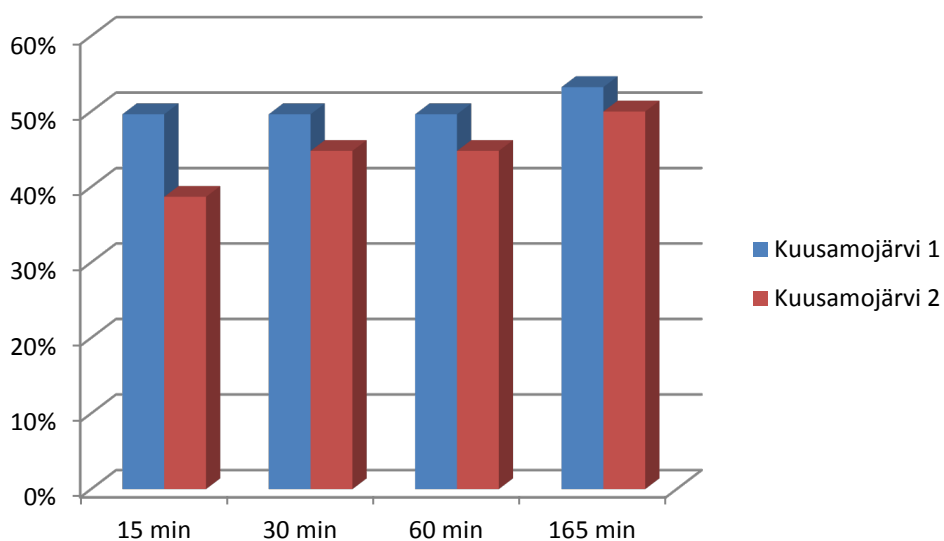
Kuva 34. Veden valuman määrittäminen vesirutosta vaa'an ja taarattujen astioiden avulla. Kuva: Anna-Liisa Välimaa, Luke

Pakastetut biomassanäytteet kylmäkuivattiin ja näytteistä määritettiin Luonnonvarakeskuksessa raakavalkuainen, raakarasva, tuhka, NDF ja ADF-kuitu ja aminohapot. Lisäksi määritettiin kuiva-aineen ja typen ohutsuolisulavuus ja orgaanisen aineen kokonaissulavuus *in vitro* -menetelmällä käyttäen sian ruuansulatusentsyymejä. Kivennäis- ja hivenaineet määritettiin Ahma ympäristö Oy:n laboratoriossa (liite 1) ja raskasmetallit Suomen ympäristökeskuksessa. Vesirutonäytteiden keruu, esikäsittely ja analysointimenetelmät on tarkemmin kuvattu luvuissa 3.2.1, 5.2.1 ja 6.2. sekä liitteissä 2 ja 5.

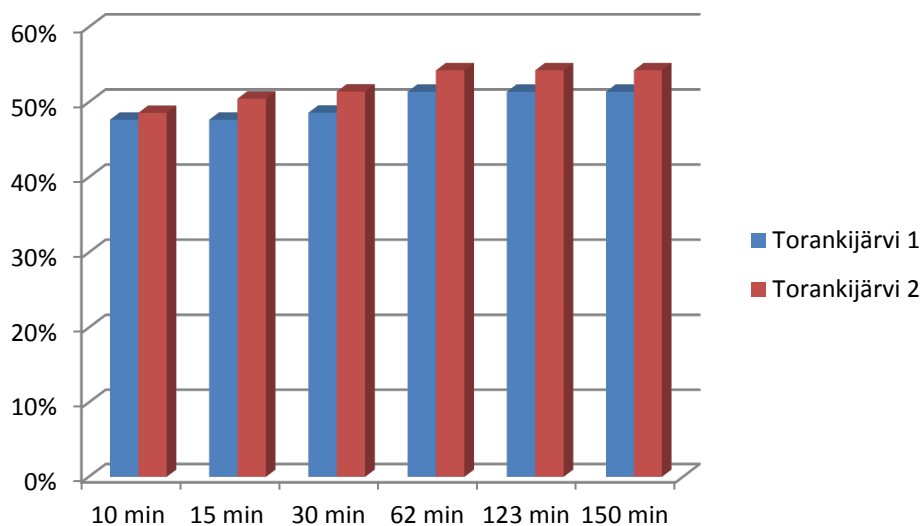
7.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

7.3.1 Biomassanäytteistä valunut vesi

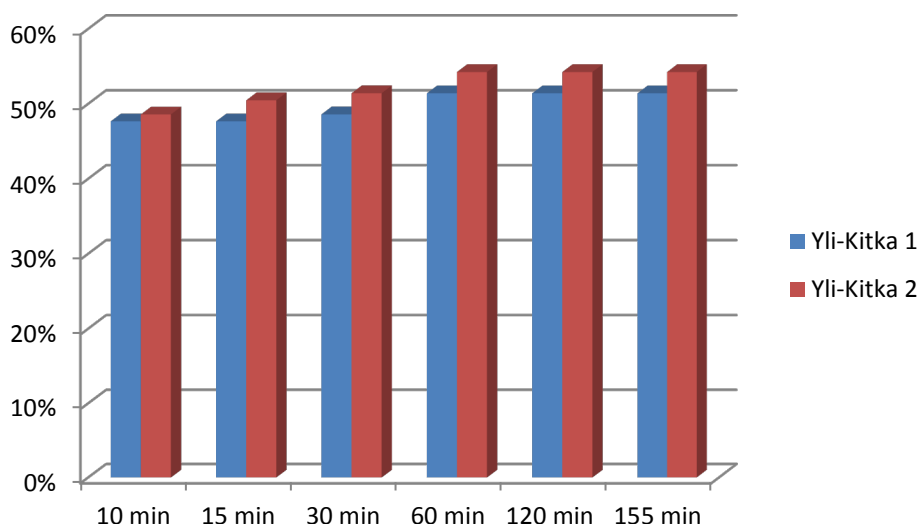
Vesiruton biomassanäytteistä valuneen veden osuus prosentteina näytteen painosta aikapisteittäin on esitetty kuvissa 35–37. Veden valuma oli noin puolet näytteen painosta jo 15 ensimmäisen minuutin aikana: Kuusamojärvellä keskimäärin 44,5 %, Torankijärvellä 49 % ja Yli-Kitkalla 58 %. Tämän jälkeen näytteistä valui vettä enää melko vähän. Noin 2,5 tunnin kuluttua Kuusamojärven näytteistä oli poistunut vetenä keskimäärin 52 % (aikapiste 165 min), Torankijärven 53 % (150 min) ja Yli-Kitkan 61 % (155 min).



Kuva 35. Vesiruton biomassanäytteistä valunut vesi (% näytteen painosta) Kuusamojärvellä.



Kuva 36. Vesiruton biomassanäytteistä valunut vesi (% näytteen painosta) Torankijärvellä.



Kuva 37. Vesiruton biomassanäytteistä valunut vesi (% näytteen painosta) Yli-Kitkajärvellä.

Tulokset ovat samansuuntaisia kuin vesiruton torjunnassa saadut käytännön kokemukset, eli vesirutossa on runsaasti helposti pois valuvaa vettä. Valtaosa vedestä poistuu heti korjuun jälkeen, joten massan jatkokäsittelyyn voitaisiin siirtyä nopeasti. Valuneen veden käsittely on haasteellista, koska veden pääsy takaisin vesistöön on estettävä sen sisältämien kasvin osien ja ravinteiden takia. Mahdollista rehukäyttöä ajatellen veden poistuminen on edullista, koska se vähentää koneellisen veden poiston tarvetta.

Koetuloksia ei voi soveltaa sellaisenaan käytäntöön, koska valuman määrittäminen tehtiin vain pienestä biomassanäytteestä. Vesiruton torjunnassa biomassat ovat suuria ja veden vapaa valuminen niistä voi osittain estyä. Koemittausten aikana sää oli varsin viileä. Lämpötilan nousu vaikuttaa korjuussa saatujen käytännön kokemusten mukaan sekä veden valumaan että jäljelle jäävän biomassan hygieeniseen laatuun ja säilymiseen.

7.3.2 Kemiallinen koostumus rehukäytön kannalta

Koillismaan järviltä kerätyn vesiruton analysoitu kemiallinen peruskoostumus näkyy taulukossa 32 ja aiemmissa tutkimuksissa (Muztar ym. 1978, Lizama ym. 1988) mitattuja koostumuksia on esitetty taulukossa 33. Vertailuna peltokasveihin on esitetty Rehutaulukon puna-apilan kemiallinen koostumus (Luke 2015).

Taulukko 32. Vesiruton kemiallinen koostumus tutkimuksen järvissä.

	Kuusamojärvi	Torankijärvi	Yli-Kitka
Kuiva-aine, g/kg	104	87	78
Kuiva-aineessa, g/kg			
Tuhka	186	203	166
Raakavalkuainen	114	231	153
Raakarasva	2,9	1,1	6,0
NDF-kuitu	378	302	354
ADF-kuitu	186	203	166

Taulukko 33. Tuoreen ja kuivatun vesiruton kemiallinen koostumus aikaisemmissa tutkimuksissa, vertailuna puna-apilan koostumus.

	Vesirutto tuore Muztar ym. 1978	Vesirutto kuivattu Lizama ym. 1988	Puna-apila tuore Luke 2015 ¹
Kuiva-aine, g/kg	82	870	180
Kuiva-aineessa, g/kg			
Tuhka	149	175	115
Raakavalkuainen	141	125	210
Raakarasva	28	-	35
NDF-kuitu	402	370	360
ADF-kuitu	251	287	-

¹Puna-apila, 1. ja 2. sato, normaali korjuu.
Puuttuva tieto: -

Tutkittujen vesiruttonäytteiden vesipitoisuus oli suuri, keskimäärin 91 %. Kuiva-aineen tuhkapitoisuus oli myös suuri, jopa yli 20 % kuiva-aineesta. Vesiruton kuiva-aineen raakavalkuaispitoisuus vaihteli järvien välillä. Raakarasvan analysoitu määrä oli hyvin pieni, keskimäärin 3 g/kg ka. Solunseinämäaineiden kokonaismäärää kuvaavan NDF-kuidun ja selluloosaa ja ligniiniä kuvaavan ADF-kuidun määrä oli eri järvien vesiruttonäytteissä samansuuntainen. Vesiruton valkuais- ja kivennäispitoisuuteen vaikuttaa suuresti kasvupaikkana olevan vesistön ravinnetila (Fish & Will 1966, Kurilenko & Osmolovskaya 2007). Tutkituista vesiruton kasvupaikoista Torankijärvi on rehevöitynein ja siitä kerätyn vesiruton valkuais- ja tuhkapitoisuudet olivat suurimmat.

Suomalaisen vesiruton kemiallinen peruskoostumus ei olennaisesti poikennut ulkomaisten tutkimusten tuloksista. Fish & Will (1966) mukaan vesiruton raakavalkuaispitoisuus vaihteli järven ja kasvuajan kohdan mukaan ja oli 175–280 g/kg ka. Muztar ym. (1978) ja Gortner (1934) tutkimuksissa vesiruton raakarasvapitoisuus oli myös pieni, mutta moninkertainen (28 g/kg ka) suomalaisiin näytteisiin verrattuna. Nurmipalkokasvien, kuten apilan ja sinimailasen peruskoostumus on viljellyistä rehukasveista lähinnä vesiruton ja useiden muiden vesikasvien koostumusta.

Vesiruton aminohappopitoisuus määritettiin kolmen näytteenottojärven yhdistetyistä näytteistä. Aminohappopitoisuus on esitetty taulukossa 34. Vertailuna on esitetty kuivatun vesiruton (Lizama ym. 1988) ja Rehutaulukon (Luke 2015) puna-apilan valkuaisen aminohappopitoisuus.

Taulukko 34. Vesiruton aminohappopitoisuus. Vertailu aiempaan tutkimukseen ja puna-apilaan.

	Tutkimus		Vertailu	
	Vesirutto tuore Yhdistetty näyte ¹	Vesirutto tuore Yhdistetty näyte ¹	Vesirutto kuivattu Lizama ym. 1988	Puna-apila tuore Luke 2015
Raakavalkuainen, g/kg ka	166	166	125	180
Aminohapot,	g/kg ka		g/100 g raakavalkuaista	
Lysiini	6,8	4,1	4,4	4,6
Metioniini	3,4	2,0	1,0	1,7
Kystiini	1,7	1,0	1,0	1,1
Treoniini	6,0	3,6	10,3	4,4
Valiini	7,2	4,3	5,0	5,5
Histidiini	3,1	1,9	1,5	2,0
Isoleusiini	5,4	3,3	4,0	4,3
Leusiini	10,4	6,3	8,1	7,4
Arginiini	8,7	5,2	6,6	4,7
Fenyylialaniini	6,9	4,2	5,4	5,0
Tyrosiini	5,7	3,4	4,2	3,2
Alaniini	7,5	4,5	5,4	5,9
Asparagiinihappo	30,0	18,1	9,0	10,9
Glutamiinihappo	14,0	8,4	10,4	7,4
Glysiini	9,5	5,7	9,0	4,9
Proliini	5,9	3,6	-	6,3
Seriini	7,9	4,8	5,0	4,1

¹Kuusamojärven, Torankijärven ja Yli-Kitkan näytteet yhdistetty yhdeksi analyysinäytteeksi.

Vesiruton aminohappokoostumuksesta on vähän tutkimustietoa. Lizama ym. (1988) tutkimuksen vesiruton valkuaisen aminohappokoostumus on samansuuntainen kuin tässä tutkimuksessa rikkipitoisten aminohappojen ja lysiinin suhteen, mutta poikkeaa etenkin treoniinin osalta. Vertailurehuna esitetyn puna-apilan aminohappokoostumus on samansuuntainen kuin tässä tutkimuksessa analysoidussa vesiruttonäytteessä. Molempien valkuaisissa on niukasti rikkipitoisia aminohappoja. Lysiini-aminohappoa on enemmän kuin ohrassa (3,4 g/100 g raakavalkuaista), mutta vähemmän kuin härkäpavussa (5,9 g/100 g raakavalkuaista) (Luke 2015). Valkuaisen aminohappokoostumuksella ja välttämättömien aminohappojen määrällä on suuri merkitys yksimahaisten kotieläinten, kuten sikojen ja siipikarjan ruokinnassa. Tutkitun näytteen ja aiemman tutkimuksen perusteella rikkipitoiset aminohapot metioniini ja kystiini ovat vesiruton rajoittavia aminohappoja sikojen ja siipikarjan tarpeeseen nähden.

Vesiruton kivennäis- ja hivenainepitoisuus eri järvistä kerätyissä näytteissä on esitetty taulukossa 35 ja vertailu Lizama ym. (1988) tutkimukseen ja Rehutaulukon puna-apilaan (Luke 2015) näkyy taulukossa 36.

Taulukko 35. Vesiruton kivennäis- ja hivenainepitoisuus tutkimuksen järvissä.

	Kuusamojärvi	Torankijärvi	Yli-Kitka
Kuiva-aineessa, g/kg			
Kalsium	13,7	16,1	16,5
Fosfori	2,1	4,8	2,9
Magnesium	2,5	3,4	2,8
Kalium	31,6	31,3	39,3
Natrium	3,1	6,0	2,2
Rikki	2,3	2,7	2,8
Kuiva-aineessa, mg/kg			
Rauta	1930	2770	1200
Mangaani	1380	25800	1700
Kupari	3,5	3,8	2,2
Sinkki	20,0	25,0	62,0
Seleeni	<0,3	<0,3	<0,3
Boori	11,0	13,0	10,0

Taulukko 36. Kuivatun vesiruton kivennäis- ja hivenainepitoisuus (Lizama ym. 1988), vertailuna puna-apilan koostumus.

	Vesirutto kuivattu Lizama ym. 1988	Puna-apila tuore Luke 2015 ¹
Kuiva-aineessa, g/kg		
Kalsium	18,0	14,7
Fosfori	2,5	2,3
Magnesium	7,6	2,8
Kalium	38,1	28,0
Natrium	6,9	0,2
Rikki	-	3,0
Kuiva-aineessa, mg/kg		
Rauta	878	200
Mangaani	187	35
Kupari	6,1	15
Sinkki	44,0	35
Seleeni	0,09	-
Koboltti	0,13	0,15
Molybdeeni	0,83	-

Vesirutto sisälsi runsaasti kalsiumia suhteessa fosforiin. Myös kaliumia oli melko runsaasti. Useimpien kivennäis- ja hivenaineiden pitoisuus oli suurin melko rehevöityneen Torankijärven vesirutossa. Hivenaineista mangaania ja rautaa oli runsaasti kaikissa näytteissä ja Torankijärven vesirutossa mangaanipitoisuus 15–18 -kertainen muihin järviin verrattuna. Vesirutto kerää tehokkaasti kivennäis- ja hivenaineita kasvupaikaltaan. Tämän hankkeen ja aikaisempien tulosten mukaan vesiruton metallipitoisuudet heijastavat sedimentin ja veden laatua (Kurilenko & Osmolovskaya 2007, Thiébaud ym. 2010). Erityisesti fosforin, kaliumin, kalsiumin, mangaanin, kuparin ja boorin sitoutuminen vesiruttoon lisääntyy rehevöityneissä vesistöissä (Franklin ym. 1971). Kurilenko & Osmolovskaya (2007) ja Thiébaud ym. (2010) mukaan mangaani ja rauta sitoutuvat ympäristöstä hyvin tehokkaasti vesiruttoon.

Analysoitu vesiruton kivennäiskoostumus on verrattavissa Lizama ym. (1988) tutkimustuloksiin. Vesiruton kivennäisainekoostumus muistuttaa kalsiumin, fosforin ja kaliumin osalta puna-apilan kivennäiskoostumusta. Fish & Will (1966) mukaan vesiruton kuiva-aineen fosforipitoisuus vaihtelee 3,4–7,5 g/kg, kaliumpitoisuus 29–38 g/kg ja magnesiumpitoisuus 2,6–3,5 g/kg. Hivenaineista raudan ja mangaanin pitoisuudet ovat suuret suomalaisissa näytteissä verrattuna Lizama ym. (1998) tuloksiin, mutta Thiébaud ym. (2010) tutkimuksessa vesirutossa havaittiin suuria mangaanin (16014 mg/kg ka), raudan (3809 mg/kg ka) ja sinkin (248 mg/kg ka) pitoisuuksia. Viljelyistä rehukasveista lupiini sisältää runsaasti mangaania, 800–3000 mg/kg ka (Todorov ym. 1996).

Hivenaineista runsaimmin vesirutossa esiintyneet mangaani ja rauta ovat eläimille välttämättömiä, mutta suurina määrinä haitallisia ja lopulta myrkyllisiä. Suomalaisten suositusten mukaan nautojen mangaanin tarve on 40–80 mg/kg rehun kuiva-ainetta. Raudan tarve on vasikoilla 100 mg eläintä kohti päivässä ja muilla naudoilla 100 mg/kg rehun kuiva-ainetta. Pikkuporsaat tarvitsevat rautaa 150 mg ja suuremmat siat noin 80 mg/kg rehun kuiva-ainetta. Sioille ei ole annettu erillistä mangaanin saantisuositusta (Luke 2015). NRC (2005) mukaan mangaanin suurin siedettävä pitoisuus rehussa on nadoille ja nuorelle siipikarjalle 2000 mg/kg ja sioille 1000 mg/kg. Suurin siedettävä pitoisuus (maximum tolerable level) tarkoittaa aineen pitoisuutta koko rehuseoksessa, joka ei lyhytaikaisessa käytössä aiheuta haittoja eläimille eikä niistä saattaviin elintarvikkeisiin. Mangaanin liikasaannin oireet ilmenevät ensisijaisesti anemiana, koska mangaani estää raudan hyväksikäyttöä. Lisäksi mangaani estää kalsiumin, fosforin ja sinkin hyväksikäyttöä. Raudan suurin siedettävä pitoisuus rehussa on nadoille ja nuorelle siipikarjalle 500 mg/kg ja sioille 3000 mg/kg. Liikasaannin oireina ovat mm. suoliston limakalvon vauriot, oksentelu ja huono kasvu. Hivenaineiden myrkytysoireiden kehittymiseen vaikuttaa mm. eläinlaji, kerta-annoksen koko, saantiajan pituus, muiden ravinto- ja kivennäisaineiden saanti sekä eläimen ikä ja terveydentila. Usein rehun syönti huononee jo ennen kuin haitalliset oireet ilmenevät.

Hivenaineita lisätään rehuihin erilaisina valmisteina, jotka on EU:ssa hyväksyttävä ja liitettävä osaksi Rehun lisäaineiden rekisteriä (EU 2017). Rekisterissä on linkit kunkin hivenainevalmisteen hyväksyntäasetukseen ja liitteisiin, joissa ilmenee hivenaineiden suurin sallittu kokonaismäärä rehussa (kosteus 12 %) eri eläimille. Mangaanin suurin sallittu kokonaismäärä rehussa on 100 mg/kg kaloille ja 150 mg/kg muille kotieläimille. Raudan sallittu määrä on nadoille 500 mg/kg, siipikarjalle 450 mg/kg, porsaille ennen vieroitusta 250 mg/kg ja muille eläimille 750 mg/kg.

Tutkittujen kolmen järven vesiruttonäytteiden mangaanin ja raudan määrät olivat niin suuria, että ne käytännössä rajoittaisivat vesiruton käyttöä rehuksi. Torankijärven vesiruttoa ei voi suositella lainkaan rehukäyttöön sen hyvin suuren mangaanipitoisuuden vuoksi. Kuusamojärven ja Yli-Kitkan vesirutossa mangaanin määrä on verrattavissa rehuna käytettävään lupiiniin. Lupiinin käyttömäärä on sikojen rehussa 5 – 25 % rehuseoksesta ja nautojen rehuissa alle 20 %. Lupiinin suurin käyttömahdollisuus on lihasikojen ruokinnassa. Suurta mangaanipitoisuutta pidetään kuitenkin yhtenä lupiinin rehukäyttöä rajoittavista tekijöistä (Todorov ym. 1996). Myös raudan suuri määrä rajoittaisi vesiruton käyttöä rehuna.

Taulukko 37. Vesiruton raskasmetallipitoisuuksia tutkimuksen järvissä.

	Kuusamo-järvi	Toranki-järvi	Yli-Kitka
Kuiva-aineessa, mg/kg			
Alumiini	620	80	213
Arseeni	0,24	0,32	0,17
Kadmium	0,05	0,02	0,04
Lyijy	0,30	0,04	0,32

Vesiruton haitallisten raskasmetallien pitoisuuksia tutkimuksen järvissä on esitetty taulukossa 37. Raskasmetallien pitoisuus vesiruttonäytteissä oli vähäinen. Raskasmetallien kertymiseen vesiruttoon vaikuttaa niiden esiintyminen kasvuympäristössä. Kurilenko & Oslomovskaya (2007) tutkimuksessa Pietarin alueella vesirutossa oli kadmiumia 0,3–0,5 mg/kg ja lyijyä 1,3–27,4 mg/kg ka.

EU:ssa on annettu raja-arvot lyijyn, arseenin ja kadmiumin määrälle eläinten rehuissa (EY 2002). Nii-den mukaan rehun kuiva-aineessa saa olla lyijyä korkeintaan 11,3 mg/kg (nurmirehuissa 34 mg/kg), arseenia 2,3 mg/kg ja kadmiumia 1,1 mg/kg. Kuusamon järvien vesirutossa pitoisuudet olivat huomatta-vasti raja-arvoja pienempiä. NRC (2005) mukaan alumiinin suurin siedettävä pitoisuus märehitijöille, sioille ja siipikarjalle on 1000 mg/kg rehun kuiva-ainetta. Alumiinin saanti rehusta esimerkiksi laitumen kautta voi olla huomattavan suuri ilman haittavaikutuksia, koska alumiini imeytyy huonosti elimistöön. Kuusamojärven vesirutossa oli runsaimmin alumiinia, mutta sen määrä ei rajoittaisi ensisijaisesti vesiru-ton käyttöä rehuksi.

7.3.3 Ravintoaineiden *in vitro* -sulavuus

Vesiruton entsymaattisella *in vitro* -menetelmällä mitattu kuiva-aineen ja typen ohutsuolisulavuus ja orgaanisen aineen kokonaissulavuus sioilla on esitetty taulukossa 38. Kolmen järven näytteet yhdistet-tiin analyysiä varten.

Taulukko 38. Vesiruton ravintoaineiden *in vitro* -sulavuus.

	Vesirutto yhdistetty näyte ¹
Ohutsuolisulavuus, %	
Kuiva-aine	46,9
Typpi	70,9
Kokonaissulavuus, %	
Orgaaninen aine	81,7

¹Kuusamojärven, Torankijärven ja Yli-Kitkan näytteet yhdistetty.

Vesiruton typen (valkuaisen) ja kuiva-aineen ohutsuolisulavuus sioilla on lähinnä verrattavissa samalla menetelmällä (Boisen & Fernández 1995) määritettyyn sinimailasesta tehdyn säilörehun sulavuuteen. Kyntäjä ym. (2014) mukaan säilörehun typen *in vitro* -ohutsuolisulavuus on 81–83 % ja kuiva-aineen 39–51 %.

Vesiruton orgaanisen aineen *in vitro* -kokonaissulavuus oli verrattavissa samalla menetelmällä mitat-tuun ohran (84,8 %) ja rypsirouheen (79,2 %) orgaanisen aineen sulavuuteen. Vesiruton orgaanisen

aineen sulavuus oli parempi kuin kuitupitoisen vehnänleseen sulavuus (65,8 %) (Boisen & Fernández 1997). Vesiruton orgaanisen aineen kokonaissulavuus on myös verrattavissa tuoreen sinimailasen sulaavuuteen (83 %) (Kyntäjä ym. 2014).

In vitro -sulavuuden perusteella vesiruton valkuaisen arvo sioille on verrattavissa nurmipalkokasveihin. Mahdollisia rehun käyttäjiä voisivat olla loppukasvatusvaiheen lihasiat ja tiineet emakot, mutta valkuaisarvon (aminohappokoostumus ja typen sulavuus) perusteella käyttömäärä jäisi melko pieneksi, alle 10 % rehun kuiva-aineesta.

7.3.4 Vesiruton käytännön mahdollisuudet rehukasvina

Tuoretta vesiruttoa on käytetty aiemmin kotieläinten ruokinnassa, mutta käytetyn vesiruton laadusta, maittavuudesta ja syöntimääristä ei ole juuri tietoa. Paikallisten rehujen käyttömahdollisuuksia on Koillismaalla myös porotaloudessa, jossa on lisäruokinnan tarvetta talviaikana. Porojen tiedetään syövän kesällä mm. suo- ja kosteikkokasveja, mutta niiden vesikasvien käytöstä ei ole tietoa. Poron rehukasvien käyttö kesällä on monipuolista ja valikoivaa ja se syö mieluiten lehteviä, pehmeitä ja vähän kuitua ja ligniiniä sisältäviä kasveja. Talvella poro sopeutuu niukkaan ravinnon saantiin ja valkuaisen tarve on vähäinen. Talvella ravitsemuksen tavoite on lähinnä porojen energian saannin turvaaminen ja rehun suuresta valkuaispitoisuudesta on jopa haittaa. Talvella luontainen rehu koostuu mm. vähän valkuaista sisältävästä naavasta ja luposta (Kumpula 2016, Nieminen 2014). Poron lisäruokinta talvella on nykyisin yleistä, koska luontaisia laitumia on vähän porojen määrään nähden. Poroille annetaan talvisin viljaan perustuvia teollisia rehuseoksia, esikuivattua säilörehua, heinää ja kerppuja. Porojen nurmirehu tulee korjata varhaisella kasvuasteella, jolloin sen kuitupitoisuus on pieni. Poroille suositellaan esikuivattua säilörehua, jossa on kuiva-ainetta noin 350 g/kg. Jäätyneen rehun sulattaminen lisää poron energian kulutusta (Maijala ym. 2016).

Tämän hankkeen tulosten perusteella vesiruton käyttöä poron rehuksi rajoittaa tai estää suuri vesipitoisuus ja korkea hivenainepitoisuus. Koska korkeat hivenainepitoisuudet ovat vesiruton riskitekijä, niiden pitoisuus tulisi aina selvittää, mikä lisää rehukäytön kustannuksia. Ennen rehukäyttöä tulisi myös selvittää vesiruton maittavuus eläinlajille, jolle käyttöä suunnitellaan. Lisäksi tulisi selvittää rehun käsittely- ja säilöntämenetelmät.

Jos koostumukseltaan rehuksi sopivaa vesiruttoa olisi saatavilla, tulisi rehu käsitellä mahdollisimman nopeasti noston jälkeen. Järviliejun ja mullan joutumista kasvimassan joukkoon tulee välttää, jotta rehu ei pilaannu. Massasta irtoaa runsaasti vettä, jonka pääsy takaisin vesistöön tulee estää. Kuivaaminen kuluttaa energiaa eikä todennäköisesti ole vesiruton kannattava käsittelytapa.

Todennäköisin käsittelytapa olisi murskata vesiruttomassa, jatkaa veden poistamista mekaanisesti ja säilöä massa muovipaaleihin happosäilöntäaineella. Vesiruton säilönnästä ei ole kokemuksia, mutta trooppista vesikasvia, vesihyasinttia, on säilötty onnistuneesti propioni- ja muurahaishappopohjaisilla säilöntäaineilla. Rehu murskattiin ja siitä poistettiin vettä, kunnes kuiva-aine oli 120 g/kg. Paras säilyvyys ja rehun maittavuus naudoille saavutettiin, kun säilöntäaineita käytettiin 5 kg/1000 kg kasvimassaa (Byron ym. 1975). Haastavinta vesiruton säilönnän kannalta on todennäköisesti riittävä veden poisto kasvimassasta. Jos pyritään lähelle nurmisäilörehun kuiva-ainetta (noin 250 g/kg), tarvitaan tehokkaita veden poistomenetelmiä.

7.4 Johtopäätökset

Tässä hankkeessa haettiin vesistöistä poistettavalle vesirutolle vaihtoehtoisia käyttötapoja, joilla saataisiin lisäarvoa tällä hetkellä jätteenä käsiteltävälle kasvimassalle. Oletuksena oli, että puhdasvetisissä Koillismaan järvissä vesiruttoon ei kertyisi haitallisia määriä raskasmetalleja tai kivennäis- ja hivenaineita ja vesirutto soveltuisi myös rehukäyttöön.

Kuusamojärven, Torankijärven ja Yli-Kitkan vesiruttonäytteistä tehdyt analyysit osoittivat, että vesiruttoon kertyy niin suuria määriä mangaania ja rautaa, että ne rajoittaisivat selkeästi sen käyttöä märehitjoiden, sikojen ja siipikarjan ruokinnassa. Torankijärven vesiruton mangaanipitoisuus oli jopa niin suuri, ettei se käytännössä sovellu rehuksi. Vesiruton kemiallinen koostumus vaihtelee veden ja sedimentin ravinnetilan mukaan, joten rehukäyttöä suunniteltaessa tulisi aina määrittää kasvimassan kemiallinen koostumus ja erityisesti hivenaineiden pitoisuudet etukäteen. Tämä lisää rehukäytön kustannuksia.

Vesiruton peruskoostumus oli verrattavissa puna-apilan koostumukseen, joten sillä voisi olla potentiaalia myös rehukäytössä. Raskasmetallien suhteen tutkittujen järvien vesirutto oli rehuksi turvallista. Helposti pilaantuva vesirutto tulisi säilöä rehukäyttöön, mutta säilöntämenetelmistä tai säilönnän kannattavuudesta tarvitaan lisätietoa. Myös maittavuus eläimille tulisi selvittää.

8. Vesiruton hyötykäyttö - työpajan tulokset

Anne-Mari Rytkönen, Satu Maaria Karjalainen, Lea Hiltunen, Hilkka Siljander-Rasi, Tero Väisänen ja Anna-Liisa Välimaa

Elodea-hankkeen loppuseminaarin yhteydessä 21.3.2017 Kuusamossa järjestettiin työpaja, jonka tavoitteena oli pohtia keinoja vesiruton poistamiseksi ja sen kaupallisesti kannattavia hyötykäyttömahdollisuuksia. Seminaariin ja työpajaan osallistui 25 henkilöä järjestöistä, alueen kunnista, yrityksistä, kehittämissyhtiöistä ja tutkimuslaitoksista.

Työpajassa keskusteltiin aluksi syistä, joiden vuoksi vesiruton poisto olisi tärkeää. Osallistujat nostivat esiin virkistyskäyttöön, vesiluontoon ja liiketoimintaan liittyviä uhkia ja mahdollisuuksia:

- kielteiset vaikutukset virkistyskäytön ja kalastuksen kannalta
- imagohaitta, rutto on nimenäkin negatiivinen
- voiko olla riskinä rantatonttien arvo?
- yksipuolistaa vesiekosysteemiä
- poiston myötä mahdollisuus poistaa vesistöistä ravinteita
- liiketoiminnan täydentäjä
- raaka-ainelähde

Työpajan ryhmätöissä hyödynnettiin niin sanottua learning café -menetelmää. Siinä osallistujat jaetaan pienryhmiin, jotka kiertävät vuorollaan eri teemoja käsittelevissä työpisteissä. Jokaisella työpisteellä on kirjuri, joka kirjaa ylös ryhmäkeskustelujen tulokset ja ryhmän vaihtuessa esittelee pääkohdat edellisten ryhmien ajatuksista. Ryhmätöiden teemat olivat:

1. Vesiruton käyttö maanparannusaineena
2. Vesiruton käyttö biokaasutuksessa
3. Vesiruton käyttö rehuna
4. Vesiruton käyttö kasvitautitorjunnassa

Tehtävänantona olivat seuraavat kysymykset:

- Kuinka kiinnostavana pidätte kyseistä käyttökohdetta?
- Kuinka vesiruton hyödyntämisen saisi kannattavaksi?
- Mitä haasteita hyödyntämiseen liittyy?

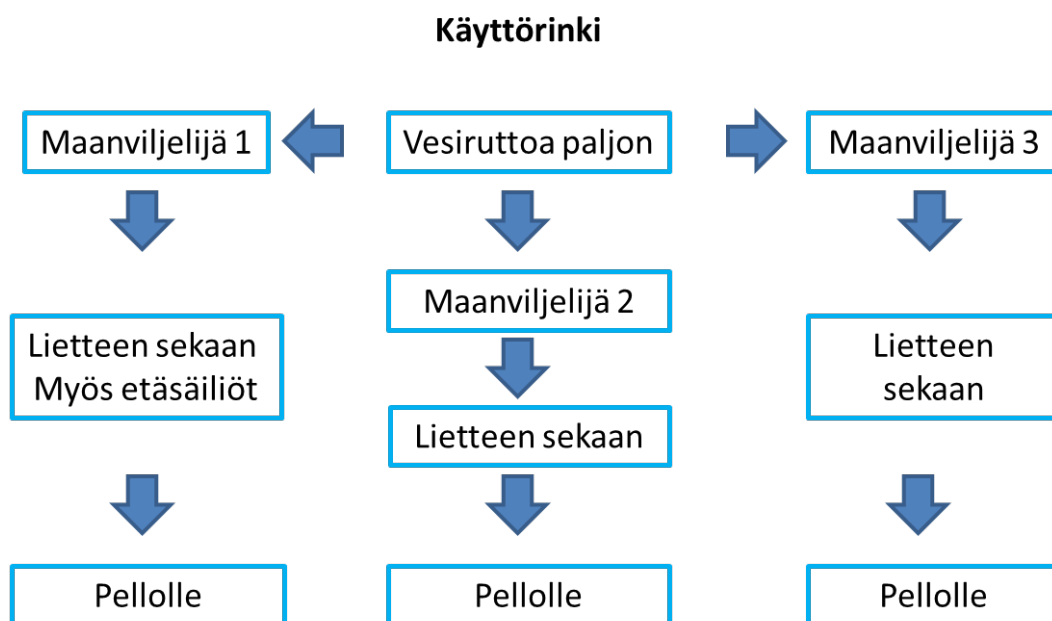
8.1 Vesiruton käyttö maanparannusaineena

Vesiruton käyttöä maanparannusaineena pidettiin kiinnostavana käyttökohteena. Vesiruttomassa kannattaisi ensin hyödyntää biokaasuna sähkön- tai lämmöntuotannossa. Jäljelle jäävän mädätysjäännöksen voisi sitten käyttää lannoitteena tai maanparannusaineena. Toisaalta vesiruttomassan suora hyödyntäminen maanparannuksessa voisi olla yksinkertaisempaa kuin monia käsittelyvaiheita vaativa biokaasutus. Haittapuolena tuotiin esille, että mikäli tuoretta vesiruttoa levitetään pellolle, muodostuu mätänemisen

seurauksena metaania. Näin ollen vesirutto ei olisi ”hiilineutraali” maanparannusaine. Vesiruttoa voitaisiin myös käyttää turvepeltojen kalkitukseen sen sisältämän kalsiumin vuoksi sekä maanparannusaineena metsissä tai kasvihuoneissa. Ryhmät pohtivat myös biometaanin jalostusta ajoneuvojen polttoaineeksi paikallisissa kaasutuslaitoksissa.

Vesiruton käytöstä saatavia hyötyjä tulisi ajatella kokonaisuutena: raaka-ainepankin lisäksi vesiruton poisto palvelisi järvien kunnostusta. Kannattavuutta voisi parantaa markkinoimalla vesiruttoa ekologisen lannoitteenä ja luksustuotteena esimerkiksi kotitarveviljelijöille: ”ravinteet vedestä pelloille”. Mahdollisuutta käyttää vesiruttoa matokomposteissa esimerkiksi biojätteen lisänä voisi selvittää.

Kannattavuuden parantamiseksi kuljetus- ja käyttöketjun vesiruton korjuupaikalta pellolle tulisi olla mahdollisimman suora. Korjuukustannuksia voisi kattaa siten, että levitys pellolle tehtäisiin talkootyönä ja levitykseen voitaisiin käyttää viljelijän omaa kalustoa. Tämä edellyttäisi, että vesirutto saadaan sellaiseen muotoon (”pirtelö”), jossa levitys esimerkiksi lietelannan levitykseen käytettävällä laitteistolla olisi mahdollista. Keskustelijat ideoivat alueellista vesiruton käyttöä. Käyttöä ringin muodostaisi esimerkiksi joukko viljelijöitä (Kuva 38). Kukin ringin toimijasta vuorollaan nostaisi vesiruton sovitulta alueelta ja tämän jälkeen kaikki osalliset voisivat noutaa oman osuutensa vesiruttomassasta. Käyttöä ringin toiminta tulisi sopia alueittain ja vuosittain. Menetelmää tulisi testata paikan päällä.



Kuva 38. Ideakuva vesiruton maanparannuskäytön ”käyttöringistä”.

Vesiruton hyödyntämiseen liittyvinä haasteina pidettiin korjuutyön käytännön toteutusta ja kaluston saatavuutta. Haasteina voi olla myös vesiruton korjuun ajankohdan sovittaminen viljelykiertoon. Mikäli vesirutto jalostetaan ”purkkilannoitteeksi”, tarvitaan tuotantotilat tähän tarkoitukseen. Raaka-aineen epätasainen saatavuus ympäri vuoden asettaa tuotannolle omat haasteensa. Yhdeksi ongelmaksi voi nousta, että ainakin tuore vesirutto voi levitä uudelleen kuljetuksen yhteydessä. Koillismaalla oli tästä käytännön kokemusta. Korjuun yhteydessä tulisi huolehtia, että suotovedet eivät valu takaisin järveen. Vaikutukset maaperään eivät myöskään ole täysin tiedossa, joskin niitä epäillään hyviksi. Eräänä huolenaiheena pidettiin mahdollisia haitallisia vaikutuksia pohjavesiin.

8.2 Käyttö biokaasutuksessa

Sekä biokaasutusta että rejektin käyttöä pidettiin kiinnostavana käyttökohteena. Raaka-ainebiomassaa on olemassa runsaasti. Eri raaka-aineiden yhteiskäyttö parantaisi biokaasutuksen kannattavuutta. Riittävän volyymin aikaansaamiseksi tulisi hyödyntää biokaasulaitoksessa myös muuta paikallista materiaalia kuten biojätettä, jätevesilietettä, kalanperkeitä ja teurasjätettä. Välikäsien minimointi parantaisi kannattavuutta. Myös työllistävyyden näkökulma tulisi ottaa huomioon.

Biokaasutuksessa voisi toimia siirrettävä kaasutuslaitos, esimerkiksi kontti. Laitoksessa tapahtuisi massan esikäsittely, biokaasutus ja rejektin käsittely. Vesikasvien ja nk. vähäarvoisen kalan käyttö lisämateriaalina tukisi myös järvikunnostusta. Arvioiden mukaan tonni vesiruttomassaa (kuiva-aineena) tuottaisi metaania niin, että siitä saisi energiaa 3–3,2 MWh (sähköenergiaa 1,1–1,3 MWh). Erityistä huomiota tulisi kiinnittää tuotetun kaasun käyttöön ja varastointiin.

Rejektin hyödyntämisen ei pitäisi levittää vesiruttoa. Lisäselvitystä vaatisi vielä se, mikä potentiaali vesirutolla olisi kaasutuksessa verrattuna esimerkiksi muihin vesikasveihin. Vesirutto olisi ekologinen, uusiutuva energiamuoto, jolle voitaisiin maksaa tuulivoiman tavoin tuotantotukea. Tukea voisi saada useista lähteistä, esim. investointitukea laitoksen rakentamiseen ja järvikunnostukseen. Keskustelijat pohtivat myös mahdollisuutta käyttää vesiruttoa liikennekaasun raaka-aineena.

Biokaasutukseen liittyvinä haasteina mainittiin raaka-aineen korkea vesipitoisuus, etäisyydet hyödyntämiskohteisiin, raaka-aineen saannin kausiluonteisuus ja korjuukaluston kehittäminen. Myös kannattavuuteen liittyy vielä avoimia kysymyksiä. Logistiikka olisi suunniteltava tarkkaan. Kaasun mahdollisia käyttökohteita olisivat teollisuusalueen ”biopolis” ja uusi jätevedenpuhdistamo.

8.3 Käyttö rehuna

Vesiruttoa pidettiin potentiaalisesti kiinnostavana rehukasvina, tosin sen pääkäyttäjät eivät välttämättä olisi Kuusamon alueella. Poron rehuksi vesirutto voisi tuoda paikallisen vaihtoehdon verrattuna kauempana tuotettuun kuivaheinhän. Vesiruton maittavuutta poroille tai hirville ei ole tutkittu, mutta sitä voisi selvittää pienimuotoisilla kokeilla. Korjuusta voisivat vastata paikalliset yritykset keskitetysti. Säilörehuna tulisi pyrkiä lomittamaan vesiruton korjuu muun rehunkorjuun kanssa. Vesirutto voisi sopia säilörehuksi esimerkiksi nurmen ja viljan kanssa. Vesirutto voisi korvata talviruokinnassa kallista jäkälää. Hyötyinä pidettiin sitä, että tuotanto olisi lähellä mahdollisia käyttäjiä ja että vesirutto uusiutuu hyvin.

Vesirutto ei ole luontainen ravintokasvi viljelykaloille. Pohdittiin, että soveltuessaan kalojen ravinnoksi vesirutto voisi auttaa saamaan kalankasvatustoimintaa lähialueelle. Lisäksi vesiruton käyttö kalanrehuna voisi osaltaan auttaa vähentämään kalankasvatuksen ravinnekuormitusta. Tarkempien selvitysten jälkeen kävi kuitenkin ilmi, että viljeltyt kalat eivät syö vesiruttoa.

Uutena ideana esitettiin, että ympäristölupavolvollisille toimijoille voisi tarjota vapaaehtoisen mahdollisuuden täyttää vesiruton poistolla osa ravinteidenpoistoa koskevista velvoitteestaan.

Yleisesti ottaen rehuvaihtoehtoa ei pidetty kaikkein houkuttelevimpana vesiruton käyttömuotona. Haasteena pidettiin sitä, että vesiruton maistuvuutta eläimille ei ole vielä selvitetty tarpeeksi. Lisäksi vesiruton ravitsemuksellinen arvo ei ole optimaalinen. Kysymyksiä liittyy vesiruton myös kuivaamiseen ja korjuun ja käytön kustannustehokkuuteen. Kannattavuus edellyttäisi, ettei hinta ylitä nykyisiä rehuja. Käyttö lähialueella voisi parantaa kannattavuutta. Iso volyyymi olisi eduksi kannattavuudelle, mutta toisaalta haaste. Pienet paikalliset prosessointiyksiköt olisivat myös helposti siirrettävissä muualle.

8.4 Käyttö kasvitautien torjunnassa

Vesiruton käyttöä kasvitautien torjunnassa pidettiin etenkin ideologisesti kiinnostavana käyttökohteena, mikäli sillä voitaisiin vähentää kemiallisten torjunta-aineiden käyttöä. Etuna pidettiin yksinkertaista korjuu- ja käyttöprosessia. Kysymyksiä liittyi siihen, kuinka paljon vesiruttoa tarvittaisiin hyötyjen aikaansaamiseksi.

Hyödyntämisen kannattavuuden parantamiseksi ehdotettiin muun muassa brändäystä luomuksi, ”elodea-perunaksi” tai ”elodea-virkisteeksi”. Toiminnan saaminen kannattavaksi edellyttäisi myös nostoon liittyvien ongelmien ratkaisuja ja poistokokeita riittävässä mittakaavassa. Jo olemassa olevaa koneistoa, esimerkiksi lietteenlevitykseen tai jäädytykseen tarkoitetun kaluston, voitaisiin hyödyntämistä vesiruton levityksessä. Lisäksi ehdotettiin käyttökohteiden laajentamista esimerkiksi metsäkohteisiin tai taimitarhoille, mikä voisi lisätä kiinnostavuutta. Myös kuivauksen suotovedet voitaisiin hyödyntää. Lisää hyötyjä saataisiin myös tuotekehityksellä, esimerkiksi yhdistämällä vesiruttoa muihin ”tuotteisiin” kuten tuhkaan.

Vesiruton käyttöön liittyviä haasteita ovat kasvitauteihin vaikuttavan tekijän löytäminen ja vaadittava rekisteröinti. Korjuuseen liittyvä veden poisto, nosto ja vesiruton säilyminen vaativat kaikki teknologian kehittämistä. Lisäksi hinta ja käytön taloudellisuus voivat olla haasteina. Paikallinen käyttö edellyttäisi aluksi torjuntakohteiden kartoitusta. Myös liikkuminen pelloilla edellä mainituilla kalustoilla voi osoittautua haastavaksi.

8.5 Toimijat vesiruton poistossa

Käyttömuotojen ohella työpajassa pohdittiin myös konkreettisia toimia vesiruton poiston edistämiseksi. Mahdollisia toimijoita vesiruton poistossa voisivat olla paikalliset osakaskunnat, kyläyhdistykset, vesiensuojeluyhdistykset sekä kalatalous- maatalous- ja biokaasutus-alan yrittäjät. Yksi toimintamalli voisi olla ”kolmikantainen” yhteistyö, jossa mukana olisi yrityskumppani, paikallinen toimija ja tutkimuslaitos. Parhaimmillaan hankkeista voi syntyä lumipalloeefekti, jossa yksi hanke aktivoi muita ja seurauksena on useita uusia hankkeita.

Osallistujat olivat huolissaan siitä, miten nyt aloitettu työ saadaan jatkumaan. Uusia hankkeita tarvittaisiin esimerkiksi menetelmien testaamiseen pilottialueella. Hankkeen vetäjän löytäminen voi osoittautua kynnyskysymykseksi. Todettiin, että kalastusalueen, osakaskuntien tai yhdistysten resurssit eivät riitä hankehallinnon pyörittämiseen. Myöskään Kuusamon kaupunki ei toteuta itse hankkeita. Vetäjäksi tulisi saada Naturpoliksen kaltainen kehittämisyritys tai muu isompi toimija. Myös Vyyhti-hanketta (Vesistöt ja ympäristö yhdessä hyvään tilaan / ProAgria Oulu) ja Metsäkeskusta ehdotettiin mahdollisiksi toimijoiksi.

8.6 Vesiruton poiston toteuttaminen

Toiminnan tulisi lähteä paikallisista tarpeista ja tunnistaa paikallisia hyödyntämisketjuja. Hyviä raaka-ainelähteitä voisivat olla esimerkiksi Elijärvi, Yli-Kitkan Lohiranta, Torankijärvi ja Kuusamojärvi. Poistoa tulisi kohdentaa niille alueille, joissa vesirutosta on eniten haittaa, esimerkiksi suosituille virkistyskäyttöjärville, mökki- ja uimarannoille. Kannattavuuden vuoksi poisto tulisi toteuttaa lähellä tuotantolaitosta ja jatkokäyttäjää. Poiston yhteydessä olisi huolehdittava suotovesien talteenotosta.

Ennen laajempaa käyttöönottoa tulisi testata erilaisia menetelmiä, niiden kaupallista kannattavuutta ja

toimivuutta eri olosuhteissa. Esimerkkinä voisi olla koko ketjun pilotointi yhdessä kohteessa aina vesiruton poistosta, säilönnästä ja jalostamisesta jatkokäyttöön.

Niittoon tarvittavat laitteet saattavat vaatia isoja investointeja, joten olisi hyvä olla olemassa esim. leasing-periaatteella toimivaa, vuokrattavaa kalustoa. Toisaalta osaavissa käsissä laitteistoa voisi tehdä kohtuuhintaisestikin.

8.7 Rahoituksen tarve jatkokehitykseen

Tuettuna vesiruton ammattimainen poisto olisi mahdollista, mutta ilman tukia toteutus jäisi todennäköisesti haitankärsijöiden oman aktiivisuuden varaan. Osallistujat olivat yksimielisiä siitä, että vesiruton poiston edistäminen kaipaa jatkohankkeita ja niille rahoitusta. Esiselvitykselle vesiruton poistosta voitaisiin hakea rahoitusta maaseuturahastosta tai EAKR:sta. Myös Leader-rahoitus olisi mahdollinen. Toiminnan käynnistämisen lisäksi rahallista tukea ehdotettiin esimerkiksi lupamaksujen kattamiseen.

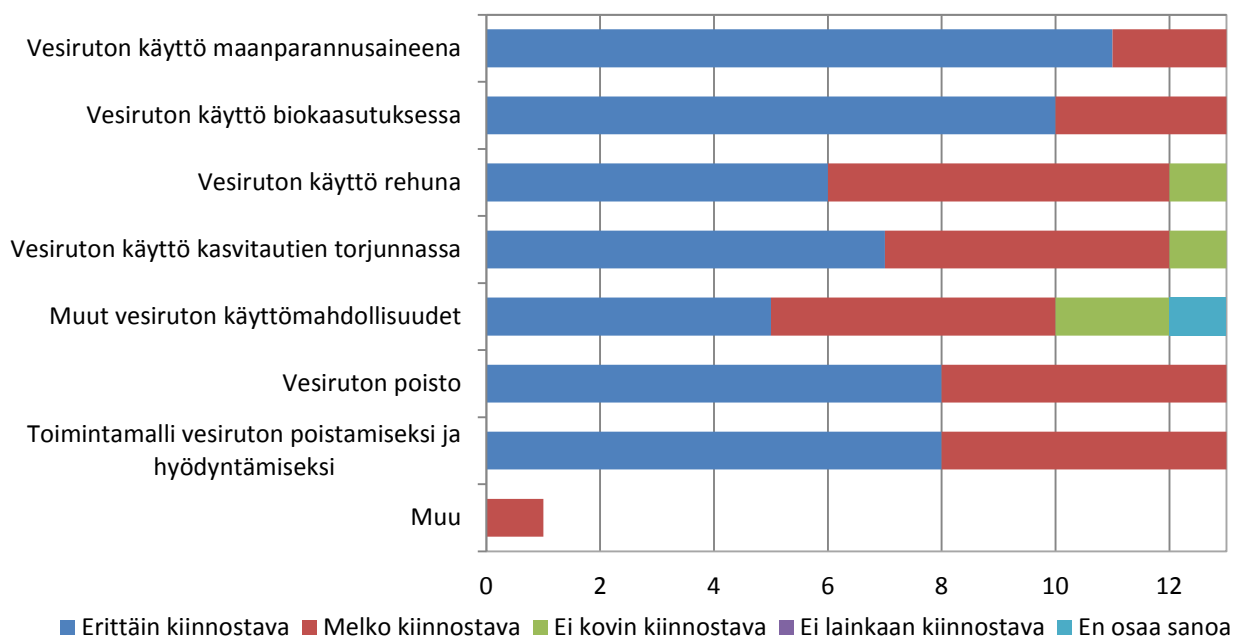
Toimintamallin kehittämiseen kaivattiin myös ”henkistä tukea” ja asiantuntija-apua, esimerkiksi hankkeiden suunnitteluun ja paikallisten toimijoiden aktivointiin. Keskeistä olisi saada luotua paikallinen yhteistyöverkosto, jossa olisi mukana myös yrittäjiä. Toiminnalle on kuitenkin oltava paikallinen tarve, jotta se saisi jatkuvuutta. Rahallisen tuen lisäksi tiedon levittämistä pidettiin tärkeänä.

8.8 Palaute seminaarista ja työpajasta

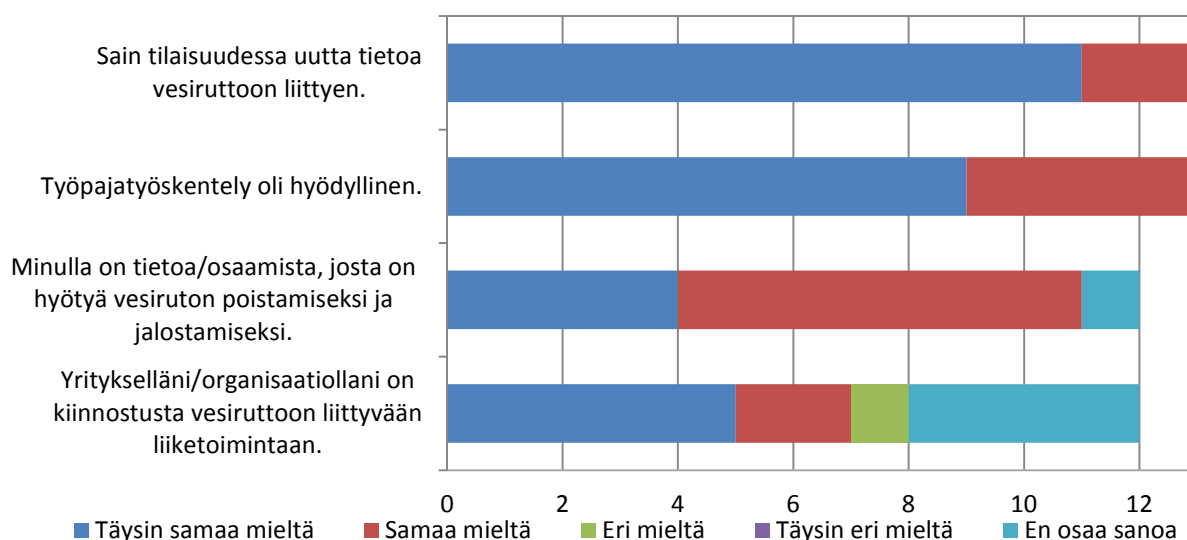
Palautelomakkeen täytti 13 henkilöä. Palautteen mukaan kiinnostavimpia vesiruton hyötykäyttömuotoja olivat käyttö maanparannusaineena tai biokaasutuksessa (Kuva 39). Enemmistö vastaajista piti myös vesiruton poistoa ja sitä koskevaa toimintamallia erittäin kiinnostavana.

Kaikki palautelomakkeen täyttäneet kokivat saaneensa tilaisuudesta uutta tietoa ja pitivät myös työpajatyöskentelyä hyödyllisenä (Kuva 40). Noin puolet vastaajista oli sitä mieltä, että heidän organisaatiolleen olisi kiinnostusta vesiruttoon liittyvään liiketoimintaan. Enemmistöllä osallistujista olisi asiantuntemusta kehittää vesiruton poistoa ja jatkojalostusta.

Kuinka kiinnostavia olivat seminaarin ja työpajan aiheet?



Kuva 39. Seminaarin ja työpajan osallistujien näkemykset teemojen kiinnostavuudessa. Kohdassa muu mainittiin työpajaosuuden ryhmätöyt. (n=13).



Kuva 40. Seminaarin ja työpajan osallistujien vastaukset palautelomakkeessa esitettyihin väittämiin (n=13).

Seminaarille annettujen kouluarvosanojen keskiarvo oli 9,0 (vaihteluväli 8–10) ja työpajan 9,1 (8,5–10). Saadun palautteen mukaan tilaisuus oli varsin onnistunut.

Seminaarin ja työpajan heikkoutena voidaan pitää paikallisten tahojen vähäistä osallistumista. Myös saadun palautteen mukaan asukkaiden, yrittäjien ja osakaskuntien edustusta olisi saanut olla paikalla enemmän. Eräänä syynä voi olla se, että tilaisuus järjestettiin virka-aikana. Jatkossa tiedottamisen tulisi olla paremmin kohdennettua eri kohderyhmille. Lisäksi tulisi pyrkiä osallistumaan myös muiden tahojen järjestämiin tilaisuuksiin kuten Posion Muikkumarkkinoille, Kuusamon Karhupäiville ja muihin, esimerkiksi alueen yrittäjien järjestämiin tapahtumiin.

8.9 Johtopäätökset

Työpajan tulosten mukaan Elodea-hanke on tuottanut paljon uutta tietoa vesiruton mahdollisista hyötykäyttömahdollisuuksista, mutta myös nostanut esiin paljon lisäselvitystarpeita esimerkiksi eri käyttömuotojen kannattavuudesta. Kiinnostavimmiksi vesiruton hyötykäyttömuodoiksi työpajan osallistujien mukaan osoittautuivat maanparannus ja biokaasutus. Eri käyttömuotojen kannattavuuden selvittämiseen ja laajemman mittakaavan pilotointiin tarvitaan uusia hankkeita. Pienillä yhdistyksillä ei kuitenkaan ole resursseja lähteä vetämään hanketta, vaan vetäjäksi tarvittaisiin paikallinen kehittämissyhtiö tai muu isompi toimija. Jotta toiminnasta tulisi jatkuvaa, sille on oltava aito paikallinen tarve. Paikallisia tahoja tulisikin jatkossa pyrkiä tavoittamaan tehokkaammin esimerkiksi henkilökohtaisilla yhteydenotoilla ja osallistamalla paikallisiin tilaisuuksiin, joissa on paljon kävijöitä.

OSA 3 Toimintamalli vesiruton hyötykäytön edistämiseksi



Vesiruton keräystä Kuusamojärven Talvilahden venesatamassa. Kuva: Satu Maaria Karjalainen, SYKE

9. Toimintamalli vesiruton hyötykäytön edistämiseksi

Teemu Ulvi, Lea Hiltunen, Hilikka Siljander-Rasi, Anna-Liisa Välimaa ja Satu Maaria Karjalainen

Vesirutto on kokonaan veden pinnan alla kasvava uposkasvi, joka voi muodostaa hyvin tiheitä, matto-maisia kasvustoja täyttäen pahimmillaan koko vesimassan pinnalta pohjaan. Se on nopeakasvuinen ja voi levitä helposti pienistäkin kasvinosista. Vesiruton poistamisen motivaationa ovat sen aiheuttamat haitat virkistyskäytölle ja muille eliöille. Vaikka vesirutto on levinnyt viime vuosikymmenten aikana uusiin vesistöihin ja aiheuttaa yhä enemmän haittoja, sitä on yritetty poistaa Suomessa hyvin harvoin. Poistoja on tehty lähinnä haitankärsijöiden eli rannan ja vesialueen omistajien ja virkistyskäyttäjien talkootyönä sekä tutkimukseen liittyvänä koetoimintana. Poistokokeilujen tulokset eivät ole myöskään olleet kovin rohkaisevia, vaan usein vesirutto on palannut käsitellyille alueille nopeasti takaisin.

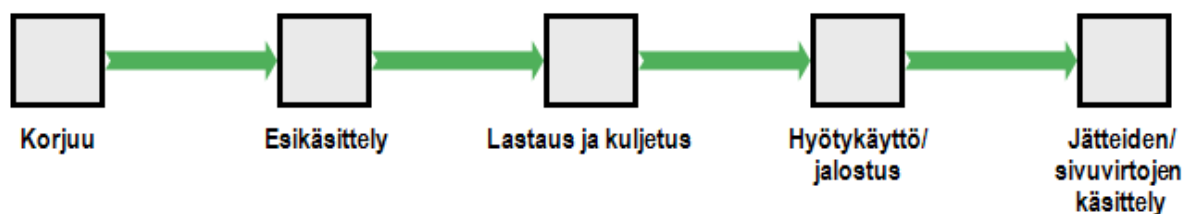
Vesiruton poistaminen on haitankärsijöille toistaiseksi pelkkä kustannuserä, jossa työtä ja kustannuksia aiheuttaa poistotyön lisäksi poistetun kasvimassan jatkokäsittely. Nyt kasvimassa on arvotonta jätettä, joka joko läjitetään kuivalle maalle, haudataan maahan tai joudutaan viemään kaatopaikalle. Vesirutto voi kuitenkin olla myös arvokas raaka-aine, jota voidaan mahdollisesti hyödyntää taloudellisesti monin eri tavoin. Vaikka vesiruton leviäminen aiheuttaa paljon haittoja, hyödyntämismahdollisuuksien näkökulmasta katsottuna sillä on monia hyviä puolia. Sen kasvu on erittäin nopeaa ja biologinen perustuotanto siksi hyvin suurta, joten vesiruton valtaamissa vesistöissä biomassaa on saatavilla tonneittain. Vesiruton saatavuus on todennäköisesti hyvä, vaikka sitä hyödynnettäisiin hyvin laajasti. Lisäksi kasvusto sisältää monia hyödyntämiskelpoisia ainesosia, kuten ravinteita ja hivenaineita.

Jos vesiruton biomassalle löydetään taloudellisesti järkeviä käyttömahdollisuuksia, siitä voi tulla haluttu raaka-aine, jolle olisi kysyntää. Parhaassa tapauksessa biomassalle löytyy ostaja, joka on valmis maksamaan raaka-aineesta. Tällöin olisi mahdollista, että myös vesiruton poistotyöhön löydetäisiin uusi rahoituslähde, jolla poistokustannukset voitaisiin kattaa, tai poistamisesta voisi tulla taloudellisesti kannattavaa liiketoimintaa, jossa yrittäjä korjaisi kasvibiomassan vesistöstä omaan käyttöönsä tai myisi sen markkinoille. Haitankärsijöille parannus nykytilanteeseen olisi jo se, että joku olisi valmis kuljettamaan biomassan omaan tarpeeseensa maksutta.

Elodea-hankkeessa on selvitetty vesiruton koostumusta ja sen perusteella on arvioitu, mihin käyttöön vesirutto voisi soveltua. Eri hyödyntämisvaihtoehdot muodostavat erilaisia arvoketjuja, joissa on erilaisia vaiheita. Niihin voidaan tarvita monia toimijoita, jotta kerätty kasvimassa voisi päätyä raaka-aineesta lopputuotteeksi. Hyödyntämisvaihtoehtoina on tässä hankkeessa tarkasteltu biokaasun tuotantoa, kasvimassan käyttöä maanparannusaineena ja eläinten rehuna sekä elintarvike- ja kosmetiikkateollisuuden raaka-aineena. Tässä luvussa on kuvattu näiden eri vaihtoehtojen arvoketjujen päävaiheet ja niihin vaikuttavat tärkeimmät tekijät sekä tarvittavat toimijat eri vaiheissa. On myös arvioitu eri vaihtoehtoihin liittyviä riskejä ja kehittämistarpeita. Lisäksi luvussa esitetään toimintamalliehdotus vesiruton hyötykäytön edistämiseksi.

9.1 Vesiruton hyödyntämisen arvoketjujen prosessit

Vesiruton hyödyntämisprosessissa on viisi päävaihetta (Kuva 41). Kaikissa hyötykäyttömuodoissa ei välttämättä ole kaikkia vaiheita. Vesiruton hyötykäyttövaihtoehtojen arvoketjut on esitetty yksityiskohdaisesti myöhemmin Kuvassa 42.



Kuva 41. Vesiruton hyödyntämisprosessin päävaiheet.

9.2 Vesiruton korjuu

Vesiruton korjuussa on kokeiltu Suomessa tietävästi kahta menetelmää: raivausnuottaa ja keräävää niittokoneita. Raivausnuottaa käytetään kalavesien apajapaikkojen raivaukseen, mutta sitä voidaan hyödyntää myös irrallaan kasvavien tai löyhästi pohjaan kiinnittyneiden uposkasvien poistoon. Jos nuottaus on suunniteltu hyvin, sillä voidaan poistaa runsaasti kasvillisuutta. Vesiruton nuottauksessa kasvimassat voivat olla hyvin suuria, joten nuottaa täytyy vetää koneellisesti, esimerkiksi traktorin voimansiirtoon kiinnitetyn kelauslaitteen avulla. Nuottaamalla kasvimassa saadaan vedettyä suoraan rannalle, eikä sitä tarvitse kerätä erikseen vedestä esimerkiksi veneisiin kiinnitettävillä keulaharoilla. Kun poistetut kasvit tukkivat nuotan havaksen, sen läpi ei käytännössä pääse kasvinpätkiä, joista vesirutto pääsisi aloittamaan uuden kasvun tai leviämään uusille kasvupaikoille. Nuottaamalla saadaan myös kasvimassa kosteampana rantaan kuin niittämällä, jolloin kasvustosta valuvan, ravinnepitoisen veden valumista takaisin vesistöön voidaan paremmin estää (Kääriäinen & Rajala 2005, Laita ym. 2007). Raivausnuottausta on käytetty vesiruton poistoon ainakin Nummi-Pusulan Ruutinlammella ja Kuusamojärven Partasenlahdella.

Keräävällä niittokoneella on korjattu vesiruttokasvustoja ainakin Kaarinan Littoistenjärvellä (Sarvala 2013). Niittokoneella voidaan käsitellä nopeasti melko suuriakin pinta-aloja, mutta huonona puolena nuottaukseen verrattuna on, että sen jäljiltä veteen jää todennäköisesti enemmän pieniä kasvinpalasia, joista taas vesirutto voi lisääntyä. Niitto saattaa repiä vain osan vesiruton varsin vaatimattomista juurista irti vesistön pohjasta, mikä voi osaltaan edistää vesiruton uudelleenkasvua. Myös kasvimassasta valuva, ravinteikas vesi päätyy suurelta osin takaisin vesistöön, koska kasvillisuus ehtii olla koneen keruualustalla melko pitkään, ennen kuin lasti kuljetetaan rantaan, sillä vesirutosta poistuu lähes puolet massan vedestä ensimmäisten minuuttien aikana. Joillakin keräävillä koneilla voidaan poistettu kasvimassa myös paalata helposti kuljetettavaan muotoon. Niitto keräävällä koneella on selvästi kalliimpaa kuin raivausnuottaus. Kalliita niittokoneita on vain vesistökunnostuksia ammatikseen tekeillä yrityksillä, kun taas nuottauksessa tarvittava välineistö on melko edullista. Tarvittavat nuottausvälineet voidaan rakentaa itse, ja nuottaus voidaan toteuttaa myös talkootyönä. Kasvillisuuden poisto keräävällä niittokalustolla soveltuu suurten yksikkökustannusten vuoksi vain laajojen alueiden käsittelyyn.

Poistetun kasvimassan keruualue tulee sijoittaa vesistön rannalle niin, että riski irtoavien vesiruton palsten kulkeutumisesta uusille kasvupaikoille on pieni. Keruualue ei saa esimerkiksi olla lähellä järven luusuaa, ettei kasvinosia päädy laskupuroon ja kulkeudu sitä kautta alapuoliseen vesistöön. Joskus voi

olla tarpeen eristää poistoalue esimerkiksi pinnasta pohjaan asennettavalla suodatinkankaalla irtopalojen leviämisen estämiseksi. Ranta-alueella, jonka kautta kasvillisuuden poisto tehdään, maaperän tulee kantaa painavia kuljetusvälineitä ja koneita. Lisäksi alueelle pitää olla kulkuyhteydet tarvittaessa isollekin konekalustolle.

Koneellisesta vesikasvien niitosta tai poistosta tulee ilmoittaa 30 vuorokautta ennen ELY-keskukseen ja vesialueen omistajalle. Laajaan vesikasvien niittoon saatetaan tarvita aluehallintoviraston lupa. (Ympäristöhallinto 2017)

9.3 Biomassan esikäsittely

Vesistöstä poistetun ja rantaan kuljetetun kasvimassan esikäsittelyllä tarkoitetaan tässä yhteydessä sisältämän suuren vesimäärän vähentämistä ja mahdollisia muita käsittelytoimenpiteitä ennen sen lastausta ja kuljetusta jatkokäyttöön. Noin 90 % vesiruton biomassasta on vettä ja vain noin 10 % kuiva-ainetta (luku 3.3). Vesi muodostaa siis valtaosan kasvimassan painosta, eikä sitä kannata kuljettaa pitkiä matkoja. Tässä hankkeessa tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että jo 10–15 minuutissa noin puolet biomassan sisältämästä vedestä valuu pois, minkä jälkeen massa kuivuu itsestään enää hitaasti (luku 7.3.1). Ennen kasvimassan kuljettamista sitä siis kannattaa valuttaa hetki rannalla ylimääräisen veden poistamiseksi.

Valuvan veden pääsy takaisin vesistöön tulee estää mahdollisimman tehokkaasti. Vesiruton sisältämässä vedessä on runsaasti ravinteita (luku 3.3), joista fosfaattifosfori on leville suoraan käyttökelpoista. Vesiruton mukana on siten mahdollista poistaa vesistöstä myös paljon ravinteita, jolloin vesistön rehevyys samalla vähenee. Valutettu vesi on mahdollisesti hyvä lannoiteliuos, joten se kannattaisi levittää pelloille, jos sopivia kohteita on lähistöllä. Kasvimassan keruupaikalle on syytä rakentaa erillinen allas, ellei paikalla ole luontaisesti valmiiksi sopivaa, alavaa paikkaa, johon vesi voi keräytyä. Allas kannattaa sijoittaa ja suunnitella siten, että se voi muodostaa pysyvän kosteikkoalueen erityisesti siinä tapauksessa, jos vettä ei voida järkevästi käyttää kasteluun. Jos kosteikkoon voidaan johtaa myös peltoalueiden valumavesiä, sen rakentamiseen ja hoitoon on mahdollista saada maatalouden ympäristötuen erityistukea.

Kasvimassan käyttötarkoituksen mukaan voi kuivattamisen lisäksi myös muu esikäsittely olla tarpeen jo keruu- tai lastauspaikalla. Pitkät, rihmamaiset vesiruttokasvustot voivat jäädä löysiksi kasoiksi ja viedä paljon tilaa kuljetuksessa. Jos kuljetusmatka hyödyntämispaikalle on pitkä, voi kuljetuskustannusten takia olla järkevää tiivistää kasvimassaa esimerkiksi silppuamalla kasvustot pieniksi paloiksi tai paalaamalla ne. Silppuaminen on joka tapauksessa tarpeen joitakin käyttötarkoituksia varten, kuten biokaasun tuotannossa esikäsittelynä ennen massan syöttämistä mädättämöön. Silppuamisessa voidaan mahdollisesti käyttää esimerkiksi karjatalouden tarpeisiin kehitettyjä seosrehuvaunuja, joissa repijälaitteet pilkkovat rehupaalit tasalaatuisiksi rehumassaksi, tai lietteen kuivaamiseen tarkoitettuja ruuvipuristimia. Jos massaa aiotaan hyödyntää rehuksi tai muiden tuotteiden raaka-aineina, sen säilöminen esimerkiksi nurmirehun säilöntään tarkoitetuilla happoliuoksilla on todennäköisesti välttämätöntä. Säilötystä massasta tehtyjen paalien kääriminen muoviin on tarpeen rehuksi käytettäessä ja voi myös olla muissakin tapauksissa järkevää. Paalaamisessa, säilönnässä ja käärimässä voidaan hyödyntää yleisiä maatalouskoneita, jos ne toimivat teknisesti rihmamaiselle kasvimassalle.

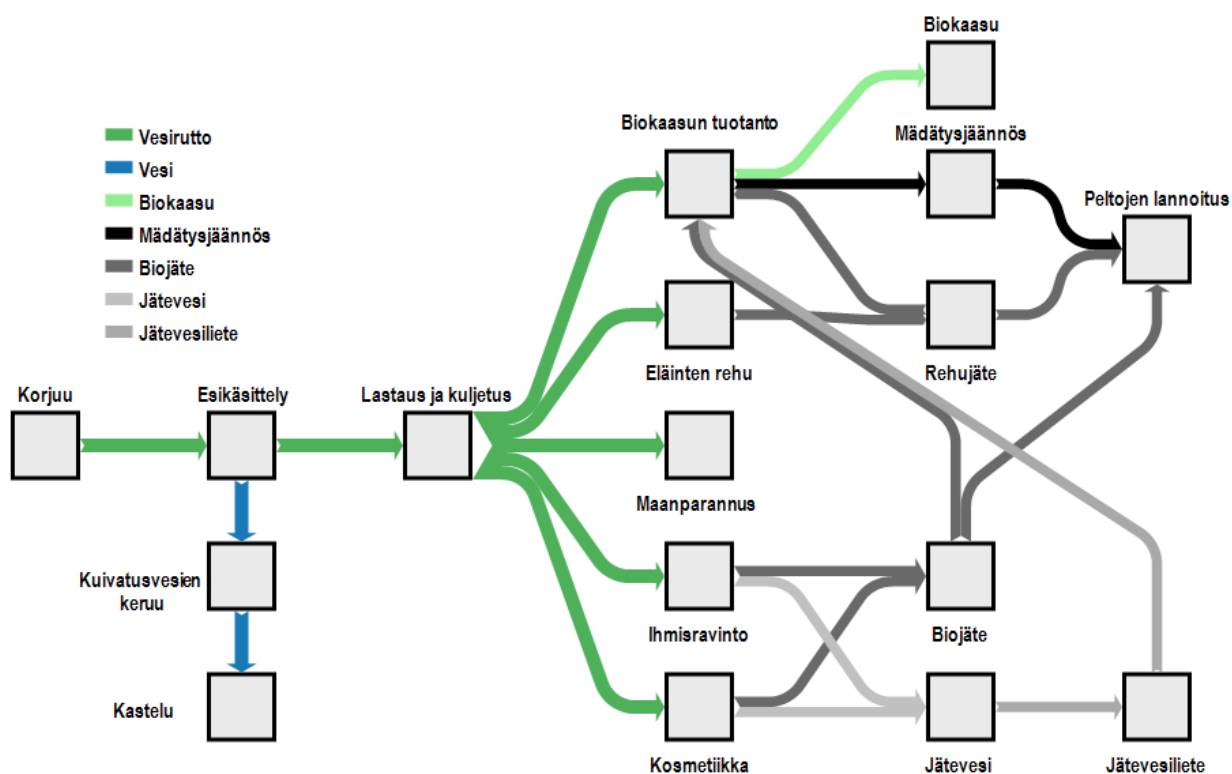
9.4 Lastaus ja kuljetus

Poistetun vesikasvimassan lastauksessa ja kuljetuksessa on useimmiten käytetty traktorin perään kiinnitettäviä metsäkuormaimia ja perävaunuja, kun kasvimassa kuljetetaan sellaisenaan ja vain lyhyitä matkoja. Lastauksessa maatalous- tai metsätraktorikaluston käyttö lienee useimmissa kohteissa ainoa vaihtoehto, koska traktorien etenemiskyky myös haastavissa maasto-oloissa on hyvä. Jos kasvimassa paalataan, traktorin kuormaimiin kytkettävät paalinkäsittelylaitteet ovat hyviä kuormausvälineitä. Kuorma-autojen kuormaimia voidaan käyttää vain kovalla maaperällä.

Kuljetuksessa traktorit tulevat kysymykseen vain hyvin lyhyillä matkoilla niiden hitauden takia. Kuorma-autojen käyttö vaatii kuitenkin paljon paremman lastauspaikan ja tieyhteydet. Joissain tapauksissa voi olla tarpeen järjestää siirto rannasta traktorikalustolla erilliselle lastauspaikalle, jossa kasvimassa voidaan siirtää kuorma-autoon. Myös tankkiautokaluston käyttö saattaa tulla kyseeseen, jos kasvimassa silputaan pieneksi ja tasalaatuiseksi massaksi, jossa on riittävästi vettä niin, että sitä voidaan siirtää pumppaamalla. Lastauksessa ja kuljetuksessa on huolehdittava, että vesiruton palasia ei missään vaiheessa pääse leviämään varsinkaan sellaisiin vesistöihin, joissa sitä ei vielä ole. Vesiruttomassaa saa käsitellä vain sen vesistön lähellä, josta se on poistettu, tai kuivalla maalla kaukana vesistöistä.

9.5 Biomassan hyötykäyttö, sivuvirtojen hyödyntäminen ja jätteiden käsittely

Tässä hankkeessa tarkasteltujen, vesiruttomassan eri hyötykäyttövaihtoehtojen arvoketjuissa ja hyödyntämisprosessin vaiheissa on suuria eroja (Kuva 42). Lyhin ketju on massan hyödyntämisessä maanparrannusaineena ja lannoitteena. Massa voidaan levittää sellaisenaan peltoon, jossa se vähitellen maatuu luovuttaen ravinteet ja muut vaikuttavat aineet viljelykasvien käyttöön, eikä sivuvirtoja tai jätettä synny. Biokaasun tuotantoa varten kasvimassa täytyy silputa viimeistään tuotantolaitoksella ennen mädäntäytysprosessia. Mädätyksessä syntyy paljon erittäin ravinnepitoista mädätysjäännöstä eli rejektiä. Eläinten rehuksi tuoreena menevä kasvimassa on säilöttävä nurmirehujen säilöntämenetelmillä. Osa rehusta jää käyttämättä tai pilaantuu muodostaen biojätettä. Kuivaaminen on todennäköisin elintarvike- ja kosmetiikkateollisuuden raaka-aineeksi menevän kasvimassan käsittelytapa ja vaihtoehtoinen tapa sen rehukäytölle. Jalostus esimerkiksi kosmetiikkateollisuuden tuotteiksi vaatii mahdollisesti useita ja monimutkaisiakin käsittelyjä. Osa massasta jää näissäkin tapauksissa biojätteeksi, ja prosesseissa syntyy myös jätevesiä.



Kuva 42. Vesiruton hyötykäyttövaihtoehtojen arvoketjut.

Olennainen osa arvoketjuja on eri vaiheissa syntyvien sivuvirtojen hyödyntäminen ja syntyvän jätemäärän minimointi. Biokaasun tuotannossa syntyvä rejekti sisältää runsaasti ravinteita, jotka voitaisiin hyödyntää kasvinravinteina peltoviljelyssä. Koska vesiruton vesipitoisuus on suuri, myös rejekti on edelleen hyvin vesipitoista, joten sitä ei kannata kuljettaa lannoitekäyttöön kovin kauas. Jos rejektistä on mahdollista jalostaa esimerkiksi rakeistettuja lannoitteita, sen kaupalliset hyödyntämismahdollisuudet olisivat huomattavasti paremmat. Syntyvä rehujäte olisi mahdollista hyödyntää lannoitteena levittämällä suoraan peltoon tai toimittamalla biokaasulaitokseen, jos maatilalla on oma laitos tai kuljetusmatka laitokselle on lyhyt.

Elintarvike- ja kosmetiikkateollisuuden jalostusprosesseissa syntyy myös biojätettä ja hyvin todennäköisesti myös jätevesiä. Myös teollisuudessa syntyvä biojäte voitaisiin hyödyntää biokaasun tuotannossa tai käyttää suoraan peltojen lannoitteena, ellei jalostusprosessissa jätteeseen ole kertynyt ympäristölle haitallisia aineita tai mikrobeja. Prosessijätevedet täytyy johtaa puhdistettaviksi. Jätevesiliete voitaisiin myös hyödyntää biokaasun tuotannossa.

9.6 Vesiruton hyödyntämiseen liittyvät riskit

Vesiruton soveltuvuuteen eri käyttötarkoituksiin liittyviä riskejä ja epävarmuuksia on käsitelty jo raportin aiemmissa luvuissa. Tässä on kuvattu tekniseen toteutettavuuteen, vesiensuojeluun, kasvimassan laatuun, taloudellisiin kysymyksiin ja lupiin liittyviä riskejä vesiruton hyödyntämisessä.

9.6.1 Tekniset riskit

Suuri osa vesiruton poistamisen ja hyötykäytön arvoketjujen vaiheista pohjautuu paljon käytettyyn tekniikkaan, mutta osaan liittyy erilaisia riskejä, jotka voivat aiheuttaa ongelmia kasvimassan hyödyntämiselle. Korjuumenetelmiin, kasvimassan kuivaukseen rannalla, lastaukseen ja kuljetukseen ei todennäköisesti liity suuria teknisiä ongelmia. Suurimmat tekniset riskit esikäsittelyvaiheessa liittyvät maatalouskoneiden soveltuvuuteen pitkiä rihmoja muodostavan vesiruton käsittelyssä, koska siitä ei ole kokemuksia. Esimerkiksi kasvusto saattaa tukkia seosrehuvaunujen pyörivät repijälaitteet ja paalainten mekanismit, minkä vuoksi korjuu- ja käsittelyketjun toimivuus tulisi testata ennen varsinaista käyttöä.

Eri hyötykäyttömuodoissa tekniset riskit ja niiden todennäköisyydet voivat olla hyvin erilaisia. Maanparannuskäytössä kasvimassan rihmat saattavat sotkeutua lannanlevitysvaunujen pohjakuljettimiin ja kela-levittimiin tai maanmuokkauskoneisiin. Myös biokaasun tuotannossa voi olla samoja ongelmia laitoksen teknisistä ratkaisuista ja mädätettävän aineksen laatuvaatimuksista riippuen. Rehuksi säilötyn vesiruton rehuarvoa ja käytännön toimivuutta ruokinnassa ei tunneta. Riskejä ovat haitallisen suuri hivenaineiden pitoisuus sekä rehun maittavuus eläimille ja sen jäätyminen. Rehun valmistus ja ruokinnan toteutus vaativat lisäselvityksiä. Jalostettaessa vesiruttoa elintarvike- tai kosmetiikkateollisuuden käyttöön kasvimaassaa täytyy todennäköisesti käsitellä monilla eri tekniikoilla. Koska niitä ei tässä vaiheessa tiedetä, niihin liittyviä riskejä ei voida vielä tunnistaa.

9.6.2 Vesiensuojelulliset riskit

Vesiruton poistaminen tai vähentäminen pysyvästi on osoittautunut sen hyvän leviämiskyvyn ja nopean kasvun takia vaikeaksi. Huolimattoman poiston seurauksena voi olla sen runsastuminen. Lisäksi vesiruton luontaiset runsaudenvaihtelut ovat niin voimakkaita, että massaesiintymän ilmaantuessa ei massiivinen poisto välttämättä ole taloudellisesti eikä ekologisesti suositeltavin vaihtoehto (Sarvala 2005). Kun suuri määrä uposkasvillisuutta poistetaan järvestä, leväkukintojen riski kasvaa. Niin vesiruton kuin muidenkin uposkasvien poistamisessa kannattaa keskittyä tärkeimpiin virkistyskäyttöalueisiin, ja jättää muualle järveen riittävästi kasvillisuutta käyttöä haittaavien seurausten välttämiseksi. Leväkukintojen riski kasvaa myös, jos vesiruttomassasta valuva ravinteikas vesi pääsee takaisin vesistöön. Kasvimassan mukana vesimassasta poistuvat ravinteet eivät välttämättä rajoita vesiruton kasvua, koska se voi kuitenkin ottaa ravinteita juurillaan myös pohjasedimentistä.

Vesiruton lastauksessa, kuljetuksessa ja käsittelyssä on pyrittävä estämään kasvinosien leviäminen sellaisiin vesistöihin, joissa vesiruttoa ei vielä esiinny. Lastaus ja purku täytyy tehdä kaukana vesistöistä ja ojista, ja kuljetettaessa kuormat täytyy suojata.

9.6.3 Hygieeniset laaturiskit

Raaka-aineen hygieeniset laatuvaatimukset vaihtelevat hyötykäyttömuodoittain. Biokaasun tuotannossa ja maanparannusainekäytössä hygieenisiä vaatimuksia ei ole. Rehuksi ja elintarvikkeiden ja kosmetiikkatuotteiden raaka-aineeksi käytettävän kasvimassan täytyy luonnollisesti olla turvallista kemiallisen koostumuksen sekä mikrobien ja taudinaiheuttajien suhteen. Vesistöjen pohjalietettä ja maa-ainesta ei saa joutua rehun joukkoon. Hygieenisen laadun säilyttämiseksi toimenpiteet on suunniteltava huolellisesti esikäsittelyssä, kuljetuksessa ja jalostuksessa tapauskohtaisesti käyttötarkoituksen mukaan. Biokaasuntuotannossa syntyvän mädätysjäännöksen eli rejektin, joka luokitellaan maanparannusaineena sellaisenaan käytettäväksi sivutuotteeksi, tulee kuitenkin täyttää maa- ja metsätalousministeriön lannoitevalmisteasetuksen (2011) hygieniavaatimukset.

9.6.4 Taloudelliset riskit

Vesiruton kaikki hyödyntämisvaihtoehtoihin liittyy monia taloudellisia riskejä ja epävarmuuksia. Käytännössä vain vesiruton korjuuseen soveltuvien menetelmien, lastauksen ja kuljetuksen kustannukset voidaan arvioida melko luotettavasti. Koska kokemuksia vesiruton poiston vaikutuksista sen uudelleenkasvuun on vain vähän kokemukseräistä tietoa (Sarvala 2013) ja koska sen kasvu on luonteeltaan muutenkin syklistä ja vaikeasti ennustettavaa, ei tiedetä, kuinka monta kertaa poisto pitää toteuttaa pysyvien vaikutusten aikaansaamiseksi. Tämä vaikuttaa olennaisesti poistotyön kustannuksiin. Poistoa suunniteltaessa ei voida myöskään tarkkaan arvioida, kuinka paljon poistettua kasvimassaa lopulta kertyy. Kasvimassan määrä ja vesiruton poiston ajoittuminen vain kesäkaudelle voi vaikuttaa merkittävästi siihen, mitkä hyötykäyttömuodot ovat teknisesti ja taloudellisesti realistisia.

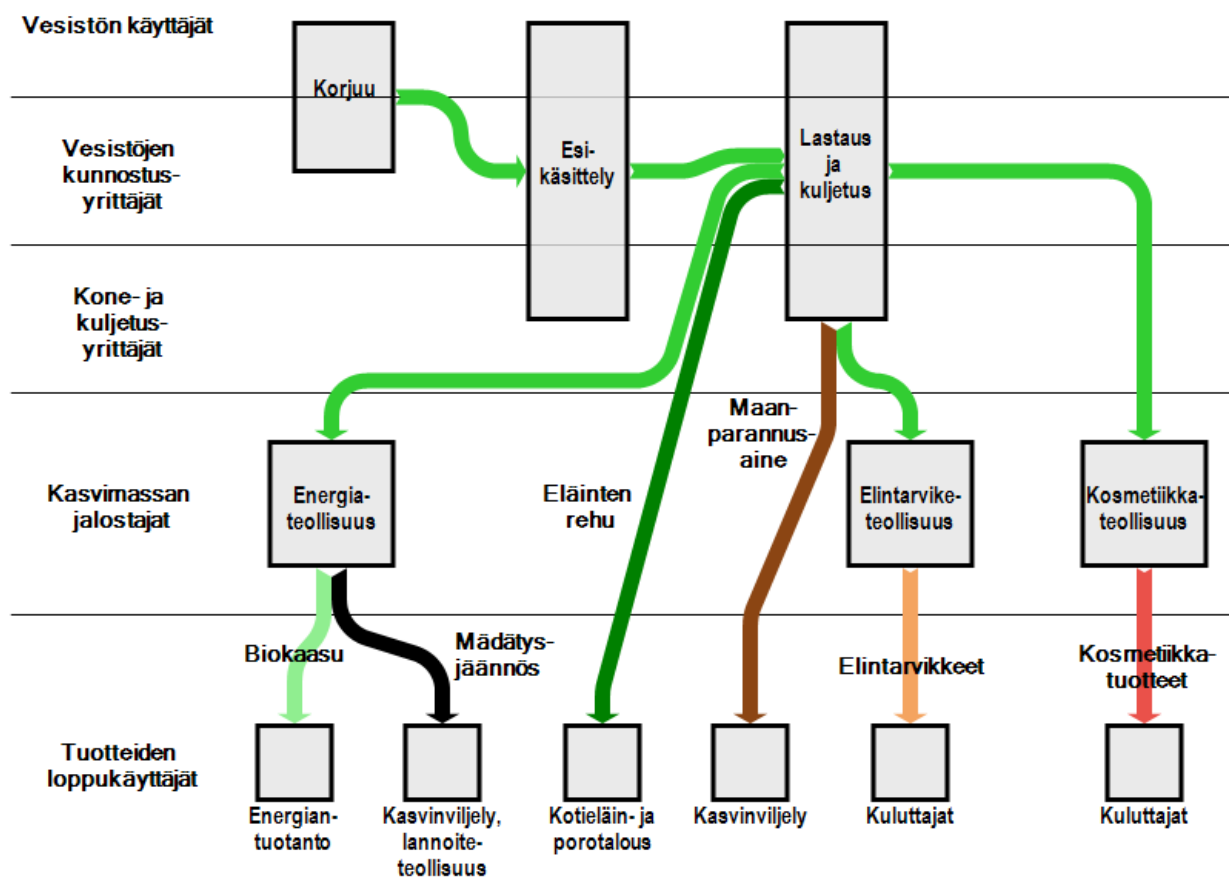
Vesiruton hyödyntäminen liiketaloudellisin perustein on mahdollista vain, jos siitä syntyy riittävästi tuloja jokaiselle arvoketjussa tarvittavalla toimijalle. Eri lopputuotevaihtoehtojen arvonlisä vaihtelee merkittävästi. Mitä arvokkaampi lopputuote on, sen enemmän myös sen tuottamiseen tarvittavat prosessit voivat maksaa. Pienemmän arvonlisän tuotteissa jo korjuu- ja kuljetuskustannukset voivat nousta helposti liian suuriksi ja olla kannattavan liiketoiminnan este. Jos haitankärsijät hoitavat vesiruton korjuun talkootyönä eivätkä vaadi kerätystä kasvimassasta tuottoa, kasvimassan hyödyntämisen kynnys alenee merkittävästi. Kaikista eri hyödyntämisvaihtoehdoista tarvitaan tarkempia taloudellisia kustannus- ja kannattavuustarkasteluja, kun tunnetaan mahdolliset toimijat.

9.6.5 Lupiin liittyvät riskit

Laajamittainen poistaminen voi vaatia aluehallintoviraston luvan. Lupa on hakijalle maksullinen, ja lupakäsittelyyn on varattava paljon aikaa. Vesilain mukaisten lupahakemusten keskimääräinen käsittelyaika tavoite on 9 kuukautta (Aluehallintovirasto 2017). Laajojen poistojen taustatiedoksi tarvitaan perusteellinen kasvillisuuskartoitus. Erityiset luontoarvot tai vedenkäyttö alueella voivat estää poistamisen kokonaan.

9.7 Vesiruton hyötykäytön toimintamalli

Vesiruton hyötykäytön toimintamallin runko on esitetty Kuvassa 43. Siinä on otettu huomioon tarkastellut arvoketjut ja niissä tarvittavat toimijat.



Kuva 43. Vesiruton hyötykäytön toimintamallin runko.

Vesiruton korjuu on mahdollista tehdä vesistön käyttäjien omana työnä tai antaa vesistökunnostusyritysten tehtäväksi. Esikäsittelyn, lastauksen ja kuljetuksen voivat hoitaa joko kunnostusyritykset tai kone- ja kuljetusyrittäjät tai myös vesistön käyttäjät itse, jos heillä on sopivaa konekalustoa käytössään. Vesiruttomassa voisi mennä rehu- ja maanparannusaineeksi suoraan loppukäyttäjille karja- ja porotalouteen ja kasvinviljelyyn. Muissa hyötykäyttömuodoissa jalostusyritykset ovat välttämättömiä toimijoita.

9.8 Hyödyntämisvaihtoehtojen toteutettavuuden arviointi

Yksinkertaisin poistetun vesiruttokasvuston hyödyntämistapa on sen käyttö maanparannusaineena. Hankkeen tutkimuksissa on todettu (luku 5.3), että vesiruttomassa sisälsi huomattavia määriä kasvien tarvitsemia pääravinteita, mm. typpeä, kaliumia, kalsiumia ja fosforia, ja hivenravinteista erityisen runsaasti mangaania ja rautaa. Raskasmetallipitoisuudet alittivat selvästi lannoitevalmisteissa sallitut enimmäismäärät. Ravinnekoostumuksensa puolesta vesiruttomassa soveltuu lannoituskäyttöön, mutta pienestä kuiva-ainepitoisuudesta johtuen levitysmäärien tulisi olla suuria riittävän lannoitusvaikutuksen aikaansaamiseksi. Parhaiten vesiruttomassa soveltuneekin käytettäväksi osana lannoitusohjelmaa, jossa sen käyttöä täydennetään muilla ravinteilla. Aiemmissa tutkimuksissa vesiruttomassan on havaittu hajoavan hitaasti maassa suuren selluloosapitoisuuden vuoksi. Jatkotutkimuksissa olisikin tarpeen selvittää, millaisia vaikutuksia vesirutolla on maan rakenteeseen ja viljelyominaisuuksiin. Lisäksi havaittiin, että vesirutolla oli kasvitaudinaiheuttajien kasvua estäviä tai hidastavia vaikutuksia laboratorio-oloissa, mutta taudinestovaikutuksen toimiminen viljelyoloissa tulee selvittää tarkemmin peltotestauksilla. Maanparannuskäytössä riskit haitallisista vaikutuksista lienevät pienet, joten käyttö voitaisiin aloittaa

periaatteessa välittömästi. Suurimmat epävarmuudet liittyvät levitys- ja muokkaustekniikan toimivuuteen rihmamaisella kasvimassalla.

Toinen, teknisesti helposti toteutettava vesiruton hyödyntämistapa olisi biokaasun tuotanto. Tutkimuksissa on todettu, että sen kaasuntuotantopotentiaali on hyvä (Vitie 2009, luku 4.3). Suurimpana esteenä on, että Koillismaalla ei ole biokaasulaitoksia. Pelkästään vesiruton kaasuttamiseen ei biokaasulaitosta kannata rakentaa, koska kasvimassaa ei voida saada prosessiin tasaisesti ympäri vuoden ja sen biomassan tuotannon luontaisen vaihtelun vuoksi saatavat määrät voivat vaihdella. Tämän vuoksi laitokselle pitäisi löytyä myös muita raaka-aineita, jotka olisivat tuotannon perustana, jolloin vesiruttoa voitaisiin käyttää tukiraaka-aineena. Rihmamainen kasvimassa vaatii esikäsittelyksi silppuamisen, että sitä voidaan siirtää märkämädätysperiaatteella toimivissa laitoksissa pumppaamalla. Biokaasutusprosessin sivutuotteena syntyvä rejekt sisältää syötteenä käytetyn materiaalin ravinteet, ja on siksi arvokasta lannoitusainetta. Analyysitulosten perusteella vesiruton rejektissä oli runsaasti typpeä sekä huomattavia määriä kaliumia ja joitakin hivenravinteita. Sekä kokonaistypen että kasveille käyttökelpoisen liukoisen typen määrä oli suuri verrattuna esimerkiksi raakaan tai mädätettyyn lietelantaan. Rejektin raskasmetallipitoisuudet sekä ihmiselle vaarallisten taudinaiheuttajien ja indikaattorieliöiden määrät alittivat lannoitevalmisteissa sallitut enimmäismäärät. Laimentamaton rejekt esti laboratoriotesteissä siementen itämistä. Rejektillä saattaa olla fytotoksisia vaikutuksia myös pelto-olosuhteissa, mikä tulisi ottaa huomioon rejektin levityspaikan ja -ajankohdan suunnittelussa. Rejekt soveltuu käytettäväksi lannoitus- ja maanparannusaineena. Lannoitevaikutus on huomattava, mutta sen sijaan maanparannusvaikutus lienee vähäinen alhaisen humuspitoisuuden vuoksi. Rejektin käytössä tulee huomioida käyttöä ja leviytystä koskeva lainsäädäntö sekä tukiehdot.

Vesiruton arvioitiin aiempien tutkimusten perusteella soveltuvan kotieläinten ja porojen rehuksi. Hankkeen tulosten mukaan vesiruton suuri hivenaineiden, kuten mangaanin ja raudan pitoisuus voi kuitenkin rajoittaa ja jopa estää rehukäyttöä. Muulta koostumukseltaan vesirutto oli verrattavissa lähinnä nurmipalkokasveihin, kuten puna-apilaan. Vesirutossa on runsaasti valkuaista ja kivennäisaineita ja kuitupitoisuus on kohtuullinen. Soveltuvuus rehuksi tulisi varmistaa ottamalla edustavat näytteet ja analysoimalla niistä raakavalkuainen sekä kivennäis- ja hivenaineet. Porojen talviruokinnan kannalta rajoittavia tekijöitä voivat hivenaineiden lisäksi olla valkuaisten suuri määrä ja rehun jäätyminen ulkoruokinnassa. Porot käyttävät kosteikkokasveja ravintonaan, mutta vesikasvien maittavuutta ja soveltuvuutta niiden ravinnoksi ei ole selvitetty. Vesirutto pilaantuu nopeasti, kun se on poistettu vedestä, joten rehukäyttöä varten kasvimassa tulisi säilöä nurmisäilörehulle tarkoitetuilla happosäilöntäaineilla. Veden tehokas poistaminen ja massan murskaus todennäköisesti edistäisivät säilyvyyttä. Vesirutolle olisi tehtävä vielä maittavuus-, säilöntä- ja säilyvyyskokeita, ennen kuin sen soveltuvuutta rehukäyttöön voidaan tarkemmin arvioida. Myös maatalouden rehunvalmistuskaluston soveltuvuutta rihmamaiselle kasvimassalle tulisi testata. Vesiruttoa olisi myös mahdollista käyttää kuivattuna kotieläinten rehuseoksissa. Rehukäytön kannalta keskeistä on, että vesirutosta tehty rehu olisi samanhintaista tai edullisempaa kuin koostumukseltaan, rehuarvoltaan ja käyttötavaltaan vastaavat, jo käytössä olevat rehut. Vesiruton rehukäytön kannalta suurimpina haasteina ovat mahdolliset haitalliset hivenainepitoisuudet, kustannustehokkaan korjuun järjestäminen ja kasvimassan suuri vesipitoisuus.

Hankkeessa selvitettiin vesiruton ja sen sisältämien ainesosien hyötykäyttömahdollisuutta elintarvike- ja kosmetiikkateollisuudessa, joita ei tiettävästi aiemmin ole tutkittu. Elintarvikelain (23/2006) 7 §:n mukaan elintarvikkeiden tulee olla kemialliselta, fysikaaliselta ja mikrobiologiselta sekä terveydelliseltä laadultaan, koostumukseltaan ja muilta ominaisuuksiltaan sellaisia, että ne ovat ihmisravinnoksi soveltuvia, eivät aiheuta vaaraa ihmisen terveydelle eivätkä johda kuluttajaa harhaan. Tässä tutkimuksessa vesiruton elintarvikekäyttömahdollisuuksia arvioitiin koostumuksen sekä turvallisuuden laadun osalta tietyin parametrein. Tutkimustulosten perusteella näyttää siltä, että vesirutto sisältää ihmiselle välttämättömiä ravintoaineita (proteiini, välttämättömät aminohapot, rasva, välttämättömät rasvahapot ja tietyt kivennäisaineet) vähän ja teoreettisesti tarkasteltuna raudan ja kaliumin pitoisuus voisi ylittää terveen aikuisen turvallisen saannin rajan. Raskasmetallien osalta alumiini näytti olevan rajoittavin tekijä. Selvi-

tettäväksi seikoiksi jäivät vesiruton kemiallinen turvallisuus - luontaiset kemialliset haitta-aineet ja mikrobitoroksiinit - sekä mikrobiologinen turvallisuus: mikrobit lajikohtaisesti. Kirjallisuuden mukaan vesiruton alkaloidipitoisuus on korkea, ja sitä on käytetty oksetuslääkkeenä. Nämä seikat antaisivat viitteitä siitä, että vesirutto ei olisi kemialliselta laadultaan turvallinen eikä siten soveltuisi ravitsemuskäyttöön.

Tulosten mukaan voitaneen kuitenkin todeta, että vesirutto ei sovellu uuselintarvikkeeksi, mutta sen ainesosia voisi mahdollisesti käyttää farmaseuttisissa valmisteissa. Lisäksi vesiruton pinnalta löydettyjen mikrobien polymeerien tuotto-ominaisuuksia kannattaisi selvittää. Polymeerejä käytetään laajalti erilaisissa elintarvike-, kosmetiikka- ja lääkevalmisteissa stabilointi-, paksunnos-, emulgointi- ja geelinmuodostusaineena.

Vesiruton kosmetiikkakäyttömahdollisuuksia selvitettiin sen mahdollisten säilöntäaineominaisuuksien (patogeenien ja/tai pilaajaorganismien kasvunesto) näkökulmasta. Tulosten mukaan vesirutto ei näyttäisi soveltuvan käytettäväksi säilöntäaineena kosmetiikassa *Eschericia coli*- ja *Staphylococcus aureus* -bakteerien kasvunestoon. Käytännössä kosmetiikassa haitallisten mikrobien kasvunestoon käytetään säilöntäaineiden yhdistelmiä, sillä mikään aine ei ole niin laajakirjainen, että estäisi sekä bakteerien että hiivojen kasvua samanaikaisesti. Tutkimuksessa ei kuitenkaan testattu kasvunestovaikutusta muihin kosmetiikkaa pilaaviin bakteereihin tai hiivasieniin, kuten *Candida albicans*, joten näiden osalta esto-vaikutusta ei voida arvioida. Erilaiset säilöntäaineet ovat kosmetiikassa merkittävä allergisoiva ainesosa. Vesiruton mahdollisia allergisoivia vaikutuksia ei tutkittu.

Vesiruton käyttö elintarvike- tai kosmetiikkateollisuuden raaka-aineina on vasta pitkän aikavälin visio. Vision toteutettavuudesta ei voida vielä tämän hankkeen selvitysten perusteella tehdä mitään arvioita.

10. Yhteenveto ja ehdotukset jatkotoimista

Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi (Elodea) -hankkeen tavoitteena oli löytää erilaisia vesiruton käyttötapoja, joiden avulla vesistöstä nostettu suuri kasvibiomassa saataisiin hyödynnettyä kierto- ja biotalouden tavoitteiden mukaisesti.

Oletuksena oli, että puhdasvetisissä Koillismaan järvissä vesiruton biomassa ei sisältäisi haitallisia määriä raskasmetalleja. Tutkituissa järvissä vesiruton raskasmetallipitoisuudet eivät pääsääntöisesti rajoittaneet vesiruton hyötykäyttöä ja ravinnekoostumuksensa puolesta biomassa voisi soveltua muun muassa lannoituskäyttöön. Järviin esimerkiksi järvikunnostuksen yhteydessä lisätyt metallit heijastuivat kuitenkin vesiruton suurena epäorgaanisen aineksen osuutena. Torankijärvessä havaittu vesiruton suuri mangaanipitoisuus, Kuusamojärven vesiruton alumiinipitoisuus ja kaikkien tutkittujen järvien biomassan rautapitoisuudet rajoittavatkin elintarvike- ja rehukäyttöä.

Vesiruton biomassan muodostui lähes täysin kuiva-aineen sisältämästä ainemäärästä, koska vesirutosta veden mukana poistuva määrä ei ole suuri. Järviveden ravinnepitoisuuden perusteella ei pysty arvioimaan vesiruton kuiva-aineen ravinnemäärää. Vaikka vesiruton sisältämät aineet ovat todennäköisesti suurimmaksi osaksi sitoutuneet sen rakenteeseen ja pintaan, on suositeltavaa poistaa vesirutto vesistöstä siten, etteivät sen sisältämät ravinteet enää pääse takaisin vesistöön. Tämä mahdollistaisi suurien ravinnemäärien poiston vesistöstä. Biomassan poistaminen vesistöstä pienentäisi myös järvessä hajoavan ja siten järven happitilannetta heikentävän kokonaisbiomassan määrää. Vesistöjen ja kasvimateriaalin kanalta vesiruton poistamiseen liittyvä huolellinen valmistelu ja toiminta on kuvattu toimintamallissa.

Vesiruttokasvuston biomassan määrän arvioimiseksi testattiin veneestä käytettävää kaikuluotausmenetelmää. Menetelmällä pystyttiin arvioimaan biomassan suuntaa-antava suuruusluokka. Kaikuluotausmenetelmässä havaittiin biomassan arvioinnissa kuitenkin epävarmuustekijöitä: kaikuluotaamalla ei pystytä erottamaan eri uposkasvilajeja toisistaan, jolloin taas voidaan yliarvioida vesiruton laajuutta ja biomassaa. Toisaalta vesiruttokasvuston seassa ei juuri kasva muita vesikasveja, joten tiheältä kasvustoalueelta kaikuluotaamalla saatu biomassa-arvio todennäköisesti kuvaa kuitenkin aika hyvin vesiruton biomassaa. Tarkempaa ja luotettavampaa biomassa-arviota varten tulisi biomassakoealoja sijoittaa koko uposkasvillisuuden esiintymisen syvyysvyöhykkeille, ja niitä tulisi olla riittävästi kaikuluodattavalla alueella.

Vesirutolla todettiin olevan monia hyötykäyttömahdollisuuksia. Vesirutto sopisi hyvin biokaasutuksen syötemateriaaliksi korkean metaanintuottopotentialinsa ansiosta. Vesiruton biokaasutuksen mädätysjäännöksenä syntyvä rejekti sisältää huomattavia määriä pää- ja hivenravinteita, joten se on myös arvokasta lannoitusainetta. Toisaalta joidenkin ravinteiden osalta rejektin käyttö vaatisi täydennyslannoitusta. Rejektin havaittiin estävän siementen itämistä laboratorio-olosuhteissa, joten sillä saattaa olla kasvien kasvua rajoittavia vaikutuksia myös pelto-olosuhteissa, mikä tulisi ottaa huomioon rejektin levityspaikan ja -ajankohdan suunnittelussa. Rejektin käytössä tulee huomioida myös käyttöä ja levitystä koskeva lainsäädäntö sekä tukiehdot.

Vesiruttoa voi olla mahdollista hyödyntää myös biologisessa torjunnassa. Vesirutolla ja siitä poistuvalla vedellä havaittiin perunarupea aiheuttavien sädebakteerien ja joidenkin kasvipatogeenisten sienten kasvua estäviä/hidastavia biologisia ominaisuuksia laboratorio-oloissa.

Vesiruton peruskoostumus oli verrattavissa puna-apilan koostumukseen, joten sillä voisi olla potentiaalia myös rehukäytössä. Raskasmetallien suhteen tutkittujen järvien vesiruttobiomassa olikin rehuksi turvallista. Kuitenkin Kuusamojärven, Torankijärven ja Yli-Kitkan biomassaan oli kertynyt niin suuria määriä mangaania ja rautaa, että se rajoittaisi selkeästi käyttöä märehitijöiden, sikojen ja siipikarjan ruokinnassa. Torankijärven vesiruton mangaanipitoisuus oli jopa niin suuri, ettei se käytännössä sovellu rehuksi. Rehukäyttöä suunniteltaessa tulisikin aina määrittää biomassan kemiallinen koostumus ja erityisesti hivenaineiden pitoisuudet etukäteen. Tämä taas lisää vesiruton rehukäytön kustannuksia.

Tutkimustulosten perusteella vesirutto ei ole ravitsemuksellisesti niin arvokasta, eikä turvallista käytettäväksi ihmisravintona, että sille kannattaisi hakea työlästä ja kallista statusta uuselintarvikkeeksi. Näiden tulosten mukaan vesirutto ei myöskään näyttäisi soveltuvan käytettäväksi säilöntäaineena kosmetiikassa tiettyjen bakteerien kasvunestoon.

Tässä tutkimuksessa tutkittu järvijoukko ja näytemäärät olivat pieniä. Lisäksi näytteet otettiin vain yhtenä ajankohtana, joten saadut tulokset ovat suuntaa antavia. Tämän vuoksi suunniteltaessa vesiruton jatkokäyttöä tulisi vielä tehdä tarkentavia ja käyttötarkoitusta varten kohdistettuja analyyskejä. Koska vesiruttoa on saatavilla vain avovesikauden aikaan, tulisi sen jatkokäyttöä varten selvittää käyttötarkoituskohdalliset tarpeet muun muassa esikäsittelyn ja varastoinnin osalta. Esimerkiksi käyttö maanparannusaineena vaatii kuitenkin lisätutkimuksia pelto-olosuhteissa, ja jatkotutkimuksissa on tarpeen testata, miten biomassassa vaikuttaa muun muassa maan rakenteeseen, mikrobistoon ja viljelyominaisuuksiin. Myös korjuu, käsittely, logistiikka, levitystavat, käyttömäärät sekä soveltuvuus eri viljelykasveille ja viljelytekniisiin toimenpiteisiin on tarpeen selvittää käytännön olosuhteissa. Taudinestovaikutuksen toimiminen käytännön viljelyoloissa tulisi selvittää peltotestauksilla. Helposti pilaantuva vesirutto tulisi säilöä biokaasutus- ja rehukäyttöön, mutta säilöntämenetelmistä tai säilönnän kannattavuudesta tarvitaan lisätietoa. Myös maittavuus ja käyttömäärä eläimille tulisi selvittää. Vesiruton pinnalta löydettiin limaa (ekso- ja polysakkarideja) tuottavia mikrobeja, jotka kannattaisi identifioida ja karakterisoida sekä tutkia niiden polymeerien tuotto-ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia esimerkiksi elintarvike-, kosmetiikka- sekä lääketieteellisyydessä stabilointi-, paksunnos-, emulgointi- ja geelinmuodostusaineena. Kanadan vesirutto, kuten sen sukulainen kiehkuravesirutto, sisältää myös muita fyto-kemikaaleja, esimerkiksi kasvisteroleita, joiden soveltuvuutta kannattaisi tutkia myös lääketieteelliseen käyttöön.

Hankkeen tulokset nostivat myös esille muita lisätutkimustarpeita vesiruton ominaisuuksista, kuten luontaiset kemialliset haitta-aineet ja mikrobikseenit sekä mikrobiologiset käyttömahdollisuudet. Lisäksi kasvunestovaikutusta (antimikrobiset ominaisuudet) voisi testata tässä hankkeessa tutkimattomien haitallisten mikrobien osalta kosmetiikkateollisuutta varten.

Hankkeen loppuseminaarin yhteydessä järjestetyssä työpajassa saatujen tulosten mukaan hanke on tuottanut paljon uutta tietoa vesiruton mahdollisista hyötykäyttämömahdollisuuksista, mutta myös nostanut esiin paljon lisäselvitystarpeita esimerkiksi eri käyttömuotojen kannattavuudesta. Kiinnostavimmiksi hyötykäyttämömuodoiksi arvioitiin työpajan osallistujien mukaan maanparannus ja biokaasutus. Eri käyttömuotojen kannattavuuden selvittämiseen ja laajemman mittakaavan pilotointiin tarvitaan uusia hankkeita. Pienillä yhdistyksillä ei kuitenkaan välttämättä ole resursseja lähteä vetämään hanketta, vaan vetäjäksi tarvitaan joko paikallinen kehittämissyhtiö tai muu isompi toimija. Lisäksi toiminnalla on oltava aito paikallinen tarve jotta siitä tulisi jatkuvaa.

LÄHTEET

- Aluehallintovirasto. 2017. Vesilain mukaiset luvat eli vesiluvat. Viitattu 28.3.2017. Saatavissa: www.avi.fi/web/avi/vesiluvat#.WNn6aWNtHAM.
- Agami, M. & Waisel, Y. 1986. The ecophysiology of roots of submerged vascular plants. *Physiologie Vegetale* 24: 607–624.
- Andersson, B. & Willén, E. 1999. Lakes. Teoksessa: *Swedish Plant Geography*. Rydin, H., Snoeijs, P. & Diekmann, M. (toim.). *Acta Phytogeogr. Suec.* 84: 149–168.
- Baldy, V., Thiébaud, G., Fernandez, C., Sagova-Mareckova, M., Korboulewsky, N., Monnier, Y., Perez, T. & Tremolieres, M. 2015. Experimental assessment of the water quality influence on the phosphorus uptake of an invasive aquatic plant: biological responses throughout its phenological stage. *PLoS One* 10 (3). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0118844>
- Barrat-Segretain, M.H., Bornette G., Hering-Vilas-Boas, A. 1998. Comparative abilities of vegetative regeneration among aquatic plants growing in disturbed habitats. *Aquatic Botany* 60: 201–211.
- Basile, A., Sorbo, S., Conte, B., Castaldo Cobianchi, R., Trinchella, F., Capasso, C. & Carginale, V. 2011. Toxicity, accumulation and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. *International Journal of phytoremediation* 14: 374–387.
- Bazarova, B.B. & Pronin, N.M. 2010. *Elodea canadensis* Michaux in the Watershed of the Arctic and the Pacific Oceans. *Russian Journal of Biological Invasions* 1: 243–250.
- BELFRIT-lista. Viitattu: 6.3.2017. Saatavissa: http://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dgcrf/imgs/breve/2014/documents/harmonized_list_Section_A.pdf
- Boisen, S. & Fernández, J.A. 1995. Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology* 51: 29–43.
- Boisen, S. & Fernández, J.A. 1997. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology* 68: 277–286.
- Bononomi, G., Antignani, V., Capodilupo, M. & Scala, F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soil-borne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 136–144.
- Bowmer, K.H., Jacobs, S.W.L., Santy, G.R. 1995. Identification, Biology and Management of *Elodea canadensis*, *Hydrocharitaceae*. *Journal of Aquatic Plant Management* 33: 13–19.
- Byron, H.T., James, J.R., Hentges, F., O'Connell, J.D. & Bagnall, L.O. 1975. Organic acid preservation of waterhyacinth silage. *Hyacinth Control Journal* 13: 64–66.
- Christiansen, N.H., Andersen, F.Ø. & Jensen, H.S. 2016. Phosphate uptake kinetics for four species of submerged freshwater macrophytes measured by a ³³P phosphate radioisotope technique. *Aquatic Botany* 128: 58–67. <http://doi.org/10.1016/j.aquabot.2015.10.002>
- Debowski, M., Zielinski, M., Grala, A. & Dudek, M. 2013. Algae biomass as an alternative substrate in biogas production technologies—Review. *Sustainable Energy Reviews* 27: 596–604.
- EFSA, European Food Safety Authority 2013. Scientific opinion on dietary reference values for manganese. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). *EFSA Journal* 11(11): 3419. Viitattu 20.4.2017. Saatavissa: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/3419>
- EFSA, European Food Safety Authority 2016. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2015. *EFSA Journal* 14(12): 4634. Viitattu 22.3.2017. Saatavissa: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2016.4634/epdf>
- Elintarvikelaki 23/2006. Viitattu: 8.3.2017. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060023?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=Elintarvikelaki#L3P16>.
- Eliya, S. A. 2006. Personal Care is Natural. *Household & personal products industry* 1: 57–58, 60 s.
- El-Ghazal, R.A.K. & Riemer, D.N. 1986. Germination suppression by extracts of aquatic plants. *Journal of Aquatic Plant Management* 24: 76–79.
- EPPO 2008. Guidelines for the management of plant health risks of biowaste of plant origin. *EPPO Bulletin* 38: 4–9.
- Erhard, D. & Gross, E.M. 2006. Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* against epiphytes and phytoplankton. *Aquatic Botany* 85: 203–211.
- Erhard, D. 2005. Chemoeological investigations of the invasive waterweeds *Elodea* spp. Dissertation. URL: <http://kops.uni-konstanz.de/handle/123456789/8788;jsessionid=475AFA757EF8429ADBEF79CBE58493EE>

- EU 2017. European Union Register of Feed Additives pursuant to Regulation (EC) No 1831/2003. Annex I: List of additives (Released 04.04.2017). Edition 255 (6/2017). Saatavissa: http://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/animal-feed-eu-reg-comm_register_feed_additives_1831-03.pdf
- EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EY) N:o 1223/2009, annettu 30 päivänä marraskuuta 2009, kosmeettisista valmisteista (uudelleenlaadittu toisinto). Euroopan unionin virallinen lehti L 342/59 9 22.12.2009. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0059:0209:fi:PDF>
- European Commission 2015. Novel Food Catalogue. Viitattu: 6.3.2017. Saatavissa: http://ec.europa.eu/food/safety/novel_food/catalogue/search/public/index.cfm#
- Evira 2016a. Uuslintarvikkeiden prosessin kulku. Viitattu 16.3.2017. Saatavissa: <https://www.evira.fi/globalassets/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/uuslintarvikkeet/kaaviokuva.pdf>
- Evira 2016b. Suomalaisten luonnonvaraisten kasvien elintarvikekäyttöhistoriatietoja (18.6.2014, viimeisin päivitys 29.9.2016). Viitattu 6.3.2017. Saatavissa: https://www.evira.fi/globalassets/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/uuslintarvikkeet/luonnonvaraisten-kasvien-elintarvikekaytto_29092016.pdf
- Evira 2016c. (Muokattu 1.4.2016). Viitattu 6.3.2017. Saatavissa: <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/yhteiset-koostumusvaatimukset/uuslintarvikkeet/uuslintarvikeluvan-hakeminen/uuslintarvikehakemukset/>
- Evira 2017 (muokattu 15.3.2017). Viitattu: 6.3.2017. Saatavissa: <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/yhteiset-koostumusvaatimukset/uuslintarvikkeet/uuslintarvikestatuksen-selvittaminen/>
- Evira 2014. Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat. Eviran julkaisuja 2/2013. Uudistettu painos 12.2.2014. Viitattu: 7.3.2017. Saatavissa: https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/julkaisut/julkaisusarjat/elintarvikkeet/elintarvikkeiden_ja_talousveden_kemialliset_vaarat.pdf
- EY 2002. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/32/EY haitallisista aineista eläinten rehuissa. Saatavana: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02002L0032-20150227&from=EN>
- Fineli 2017a. Ravintotekijä: E-vitamiini alfatokoferoli, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, THL 2017. Viitattu: 7.4.2017. Saatavissa: <https://fineli.fi/fineli/fi/ravintotekijat/2299>
- Fineli 2017b. Ravintotekijä: karotenoidit. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, THL 2017. Viitattu: 7.4.2017. Saatavissa: <https://fineli.fi/fineli/fi/ravintotekijat/2029>
- Fineli 2017c. Merilevä, kombu, kuivattu *Laminaria* spp. Ravintotekijä. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, THL 2017. Viitattu: 17.3.2017. Saatavissa: <https://fineli.fi/fineli/fi/elintarvikkeet/34254?q=merilev%C3%A4&foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=name&sortOrder=asc&component=2331&>
- Fineli 2017d. Papu, härkäpapu, keitetty, *Vicia faba*. Ravintotekijä. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, THL 2017. Viitattu: 17.3.2017. Saatavissa: <https://fineli.fi/fineli/fi/elintarvikkeet/31233?q=h%C3%A4rk%C3%A4papu&foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=name&sortOrder=asc&component=2331&>
- Fineli 2017e. Lehtisalaatti, ruukkusalaatti, lollo rosso, *Lactuca sativa* var. *crispa*. Ravintotekijä. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, THL 2017. Viitattu: 17.3.2017. Saatavissa: <https://fineli.fi/fineli/fi/elintarvikkeet/330?q=lehtisalaatti&foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=name&sortOrder=asc&component=2331&>
- Fish, G.R. & Will, G.M. 1966. Fluctuations in the chemical composition of two lakeweeds from New Zealand. *Weed Research* 6: 346–349.
- Fowler, M.C. & Robson, T.O. 1978. The effects of the food preferences and stocking rates of grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.) on mixed plant communities. *Aquatic Botany* 5: 261–276.
- Franklin, S., Adams, D., MacKenzie, R., Cole, H.Jr. & Price, M.W. 1971. The influence of nutrient pollution levels upon element constitution and morphology of *Elodea canadensis* rich. in Michx. *Environmental Pollution* 1: 285–298.
- Freese, R. & Voutilainen, E. 2012. Vitamiinit ja kivennäisaineet sekä muut ravinnon yhdisteet. Teoksessa: Aro, A., Mutanen, M. & Uusitupa, M. (toim.). Ravitsemustiede, 4. uudistettu painos. Kustannus Oy Duodecim, Helsinki. ss. 88–167.
- Gortner, R.A. 1934. Lake vegetation as a possible source of forage. *Science* 80: 531–533.
- Gross, E.M. 2003. Allelopathy of aquatic autotrophs. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22: 313–339.
- Hallanvuori S. & Johansson T. 2010. Elintarvikkeiden mikrobiologiset vaarat. Eviran julkaisuja 1. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Viitattu: 20.03.2017. Saatavissa: <https://www.evira.fi/tietoa-evirasta/julkaisut/elintarvikkeet/julkaisusarjat/elintarvikkeiden-mikrobiologiset-vaarat/>
- Haytowitz D.B. & Bhagwat, S. 2010. USDA Database for the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Selected Foods, Release 2. Viitattu: 7.4.2017. Saatavissa: http://www.orac-info-portal.de/download/ORAC_R2.pdf

- Heikkinen, R., Leikola, N., Fronzek, S., Lampinen, R., Toivonen H. 2009. Predicting distribution patterns and recent northward range shift of an invasive aquatic plant: *Elodea canadensis* in Europe. *BioRisk* 2: 1–32. <https://doi.org/10.3897/biorisk.2.4>
- Hessen, D.O., Skurdal, J. & Braathen, J.E. 2004. Plant exclusion of a herbivore: crayfish population decline caused by an invading waterweed. *Biological Invasions* 6: 133–140.
- Hintikka, T. J. 1917. Kanadalaisesta vesirutosta ja sen levenemisestä Euroopassa, eritoten Suomessa. *Luonnon Ystävä* 21: 77–90.
- Holm, Y. & Hiltunen, R. 2003. Lääkkeitä luonnosta. Tammer-Paino Oy, Tampere.
- Huotari, T., Korpelainen, H., Leskinen, E. & Kostamo, K.. 2011. Population genetics of the invasive water weed *Elodea canadensis* in Finnish waterways. *Plant. Syst. Evol.* 294: 27–37.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T. & Uotila, P. 1998. Retkeilykasvio. 4. painos. Luonnontieteellinen keskusmuseo, Kasvimuseo, Helsinki. 656 s.
- Johnstone, I.M. 1985. The role of recreational boat traffic in interlake dispersal of macrophytes: a New Zealand Case Study.
- Joona, J. 2008. Biokaasulaitosten mädätysjäänteissä on runsaasti käyttökelpoisia ravinteita. *Käytännön Maamies* 4: 34–35.
- Joona, J. 2013. Ravinteiden hallinta maanparannusaineiden avulla. Viitattu: 8.3.2017. Saatavissa: http://tyynelantila.fi/wp-content/uploads/2013/03/Ravinteiden-hallinta-maanparannusai-neilla_Joona-20.3_2.pdf
- Karine, E-M. & Kurimo, R. 2014. Kosmetiikan turvallisuus. Viitattu: 7.3.2017. Saatavissa: https://www.kosmetiikka-allergia.fi/prime_17.aspx
- Komulainen, H. 2014. Juomaveden mangaaniin liittyy terveysriski. *Ympäristö ja Terveys-lehti* 2, 45. vsk. Viitattu: 20.4.2017. Saatavissa: <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/talousvesi/kaivovesi/kaivoveden-kemialliset-epapuhauudet/mangaani/juomaveden-mangaanin-aiheuttama-terveysriski>.
- Kornijow R. & Kairesalo T. 1994. *Elodea canadensis* sustains rich environment for macroinvertebrates. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 4098–4111.
- Kozhova, O.M. & Izhboldina, L.A. 1993. Spread of *Elodea canadensis* in Lake Baikal. *Hydrobiologia* 259: 203–211.
- Kumpula, T. 2006. Very high resolution remote sensing data in reindeer pasture inventory in Northern Fennoscandia. Teoksessa: Forbes, B.C., Bölter, M., Müller-Wille, L., Hukkinen, J., Müller, F., Gunslay, N. & Konstantinov, Y. (toim.) *Reindeer Management in Northernmost Europe: Linking Practical and Scientific Knowledge in Social-Ecological Systems*. Springer. Berlin. ss. 167–184.
- Kuoppala, M., Väisänen, A. & Hellsten, S. 2014. Sisävesien vieraslajit – vesikasvit. Saatavana: http://vieraslajit.fi/sites/default/files/Vesikasvit_Havina_raportti.pdf
- Kurilenko, V.V. & Osmolovskaya, N.G. 2007. Bioindication Role of Higher Plants in the Diagnostics of Aquatic Ecosystems: Case Study of Small Water Bodies in St. Petersburg. *Water Resources* 34(6): 718–724.
- Kurimo, R. & Suuronen, K. 2014. Kosmetiikan säilöntäaineet ja allergia. Viitattu: 7.3.2017. Saatavissa: https://www.kosmetiikka-allergia.fi/prime_12.aspx
- Kuusela, H. 2002. Taivalkosken Siikalammen vesistötutkimus – järven tila kunnostussuunnittelun lähtökohtana. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto. 96 s. + 15 liitettä.
- Kyntäjä, S., Partanen, K., Siljander-Rasi, H. & Jalava T. 2014. Tables of composition and nutritional values of organically produced feed materials for pigs and poultry. MTT Report 164. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti164.pdf>
- Kähkönen, M., Pantsar-Kallio, M. & Manninen, P. 1997. Analysing heavy metal concentrations in the different parts of *Elodea canadensis* and surface sediment with PCA in two boreal lakes in Southern Finland. *Chemosphere* 35: 2645–2656. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653597003378>, doi:10.1080/15226514.2011.620653
- Kääriäinen, S. & Rajala, L. 2005. Vesikasvillisuuden poistaminen. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). *Järvien kunnostus*. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. S. 249–270.
- Laita, M., Tarvainen, A., Mäkelä, A., Sammalkorpi, I., Kemppainen, E. & Laitinen, L. 2007. Uposkasvien runsastumisesta 2000-luvun alussa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20. Suomen ympäristökeskus.
- Lampinen, R. & Lahti, T. 2016. Kasviatlas 2015. Helsingin Yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Kasvimuseo, Helsinki. <http://www.luomus.fi/kasviatlas>.
- Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. 64 s. ISBN 978-951-39-3076-9.
- Lehtonen, J. 2000. Vesirutto ja karvalehti täyttävät ajoittain Littoistenjärven. Turun yliopisto Aurora. 1/2000.
- Little, E.C.S. 1979. Handbook of utilization of aquatic plants. FAO Fisheries Technical Paper 87. 176 s. Saatavissa: <http://www.fao.org/docrep/003/X6862E/X6862E00.htm#TOC>

- Lizama L.C., Marion J.E. & McDowell L.R. 1988. Utilization of aquatic plants *Elodea canadensis* and *Hydrilla verticillata* in broiler chick diets. *Animal Feed Science and Technology* 20: 155–161.
- Lizarazo, C.I., Lampi, A.-M., Liu, J., Sontag-Strohm, T., Piironen, V. & Stoddard, F.L. 2015. Nutritive quality and protein production from grain legumes in a boreal climate. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 2053–2064.
- Ljungberg, R., Pikkariainen A., Lehtiniemi M. & Urho L. 2011. Vieraslajien havaitseminen Suomen merialueen seurannoissa. *Suomen Ympäristö* 10. 68 s.
- Luke 2015. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Märehtijät – Siat – Siipikarja – Hevoset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2015. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/486395/luke-luobio_40_2015.pdf?sequence=4
- Luke 2017. Luke Rehutaulukot. https://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/rehu_mtt.REHU_MTT_KIVENNAISAINEN_PACK.report?p_kieli=1
- Maa- ja metsätalousministeriö 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. Asetus nro 24/11. Helsinki 1.9.2011.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2012. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta. Asetus nro 12/12. Helsinki 3.5.2012.
- Maijala, V., Kylmämaa, L., Majuri, K. & Mustonen, J. 2016. Porojen talvirehityksen hyvien toimintatapojen opas. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://blogi.eoppimispalvelut.fi/elma/files/2016/09/Porojen-talvirehityksen-hyvien-toimintatapojen-opas-2.pdf>
- Margariinietiedotus ja Ravitsemusterapeuttien yhdistys r.y. Ravinnon rasvat II: Ravinnon välttämättömät rasvahapot. Viitattu 7.3.2017. Saatavissa: <http://loader.euroscg.fi/partner/margariini/documents/valttamatrasvahapot.pdf>
- Martinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Salo, T., Kapuinen, P., Rintala, J., Vikman, M., Kapanen, A., Torniainen, M., Maunuksela, L., Suominen, K., Sahlström, L. & Herranen, M. 2013. Biokaasulaitosten lopputuotteet lannoitevalmisteina. MTT Raportti 82. 71 s. ISBN 978-952-487-431-1.
- Mattila P.H., Hellström, J., Karhu, S., Pihlava, J.-M. & Veteläinen, M. 2016. High variability in flavonoid contents and composition between different North-European currant (*Ribes* spp.) varieties. *Food Chemistry* 204: 14–20.
- Mavi 2008. Ravinnetaset. Ympäristötuen lisätoimenpide lannoituksen ja sadon ravinnemäärien seurantaan. http://www.mavi.fi/fi/opaat-jalomakkeet/viljelijä/Documents/Ravinnetaseohje_2008.pdf
- McDowell, L.R., Lizama, L.C., Marion, J.E. & Wilcox, C.J. 1990. Utilization of aquatic plants *Elodea canadensis* and *Hydrilla verticillata* in diets for laying hens. I. Performance and egg-yolk pigmentation. *Poultry Science* 69: 673–678.
- Muñoz Escobar, M., Voyevoda, M., Fühner, C. & Zehndorf, A. 2011. Potential uses of *Elodea nuttallii*-harvested biomass. *Energy, Sustainability and Society* 1: 1–8. Saatavissa: <http://www.energysustainsoc.com/content/1/1/4>
- Mutanen, M., Voutilainen, E. 2012a. Ruoan sisältämät aineet. Teoksessa: Aro, A., Mutanen, M. & Uusitupa, M. (toim.). Ravitsemustiede, 4. uudistettu painos. Kustannus Oy Duodecim, Helsinki. ss. 16–18.
- Mutanen, M., Voutilainen, E. 2012b. Energiaravintoaineet, ravintokuitu ja alkoholi. Teoksessa: Aro, A., Mutanen, M. & Uusitupa, M. (toim.). Ravitsemustiede, 4. uudistettu painos. Kustannus Oy Duodecim, Helsinki. ss. 42–75.
- Muztar, A. J., Slinger, S. & Burton, J. H. 1978. Chemical composition of aquatic macrophytes. I. Investigation of organic constituents and nutritional potential. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 829–841.
- Mäkinen, A. & Koponen, H. 1997. Vesirutto ja muu kasvillisuus Littoistenjärvessä kesällä 1996. Teoksessa: Sarvala, J. (toim.) Littoisten järven tilan seuranta 1996. Turun yliopiston biologian laitoksen julkaisuja 18: 7–19. Turku.
- Nieminen, M. 2014. Poro – Reindeer. BoD – Books on Demand. Helsinki. ss. 88–104.
- NRC 2005. Mineral tolerance of animals: Second revised edition. National Academies Press. Washington DC. 510 s.
- Ostrowsky, M.L. & Zettler, E.R. 1986. Chemical defences in aquatic plants. *Journal of Ecology* 74: 279–287.
- Ozimek, T., van Donk, E. & Gulati, R.D. 1993. Growth and nutrient uptake by two species of *Elodea* in experimental conditions and their role in nutrient accumulation in a macrophyte-dominated lake. *Hydrobiologia* 251: 13–18. doi:10.1007/BF00007159
- Pakarinen, A., Pietilä, H. & Ylösmäki, M. 2015. Rejektivesi ja mädätteet keinolannoitteen korvaajana viljanviljelyssä. Peltokoe HAMK-Mustialassa 2014. Bioliike. Viitattu: 13.3.2017. Saatavilla: <http://www.hamk.fi/tyoelamalle/hankkeet/bioliike/PublishingImages/Sivut/opinnayte-ja-projektityot/Peltoviljelykokeet.pdf>
- Pilegaard K., Eriksen F., Soerensen M. & Gry J. 2007. EuroFIR-NETTOX Plant List. Viitattu: 6.3.2017. Saatavissa: <https://www.evira.fi/globalassets/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/uuselintarvikkeet/eurofirspnettoxplantsplistspfinal.pdf>
- Pipalová, I. 2006. A review of grass carp use for aquatic weed control and its impact on water bodies. *Journal of Aquatic Plant Management* 44: 1–12.
- Pro Luonnonkosmetiikka ry 2017. Viitattu: 13.3.2017. Saatavissa: <http://www.luonnonkosmetiikka.fi/luonnonkosmetiikka/mita-on-luonnonkosmetiikka/>

- Riihimäki, M., Mahal, K., Suoniemi, J., Nurmio, J., Sirkiä, S., Marttinen, S., Pyykönen, V. & Winquist, E. 2014. Biokaasulaskuri.fi. Biokaasulaskurin käyttöohje. Käytännön ohjeita biokaasulaitoinvestointia harkitsevalle. Ukipolis Oy. MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Viitattu 5.4.2017.
- Riis, T., Madsen, T.V. & Sennels, R.S.H. 2009. Regeneration, colonisation and growth rates of allofragments in four common stream plants. *Aquatic Botany* 90: 209–212.
- Rørslett, B., Berge, D. & Johansen, S.W. 1986. Lake enrichment by submergent macrophytes: a Norwegian whole-lake experience with *Elodea canadensis*. *Aquatic Botany* 26: 325–340.
- Salo, T., Palojärvi, A., Kukkonen, S., Vestberg, M., Kapuinen, P., Tontti, T., Ylivainio, K., Parikka, P., Nummela, M., Maunuksela, L., Lindström, K., Orasmaa, S. & Paulin, L. 2013. Orgaanisten lannoitevalmisteiden vaikutus kasvien kasvuun – testimenetelmät. MTT Raportti 101. 40 s. ISBN 978-952-487-468-7.
- Sarvala, J. (toim.). 2005. Littoistenjärven ekologisen tilan kehitys ja hoitovaihtoehdot. Turun yliopiston biologian laitos. Turun yliopiston Biologian laitoksen julkaisuja 24.
- Sarvala, J. 2013. Vesirutto Littoistenjärvessä – kolmen vuosikymmenen opetuksia. Turun yliopiston biologian laitos. Vesistökunnostusverkoston seminaari 16.8.2013. Teemaryhmä 1: Järvien uposkasviongelmat – ratkaistavissa vai ei? www.ymparisto.fi/fiFI/Vesistokunnostusverkosto/Tapahtumat/Vuosiseminaarit/Vuosiseminaari_2013.
- SCCS 2015. The SCCS notes of guidance for the testing of cosmetic ingredients and their safety evaluation 9th revision. Saatavissa: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_190.pdf
- Simpson, D.A. 1984. A short history of the introduction and spread of *Elodea* Michx. In the British Isles. *Watsonia* 15: 1–9.
- Sosa, L., Llanes, A., Reinoso, H., Reginato, M. & Luna, V. 2005. Osmotic and specific ion effects on the germination of *Prosopis strombulifera*. *Annals of Botany* 96: 261–267.
- Spicer, K.W., Catling, P.M. 1988. The biology of Canadian weeds. 88. *Elodea Canadensis* Michx. *Canadian Journal of Plant Science* 68: 1035–1051.
- Svendsen, G. E. 1980. Seasonal change in feeding patterns of beaver in Southeastern Ohio. *Journal of Wildlife Management* 44: 285–290.
- Termorshuizen, A.J., Volker, D., Blok, W.J., ten Brummeler, E., Hartog, B.J., Janse, J.D., Knol, W. & Wenneker, M. 2003. Survival of human and plant pathogens during anaerobic mesophilic digestion of vegetable, fruit and garden waste. *European Journal of Soil Biology* 39: 165–171.
- The 2013 Cosmetic Ingredient Review Expert Panel 2014. Safety Assessment of Tocopherols and Tocotrienols as Used in Cosmetics. Cosmetic Ingredient Review. Viitattu 7.4.2017. Saatavissa: <http://www.cir-safety.org/sites/default/files/tocoph122013TAR.pdf>
- Thiébaud, G. 2005. Does competition for phosphate supply explain the invasion pattern of *Elodea* species? *Water research* 39: 3385–3393.
- Thiébaud, G., Gross, Y., Gierlinski, P. & Boiché, A. 2010. Accumulation of metals in *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii*: implications for plant-macroinvertebrate interactions. *Science of the Total Environment* 408: 5499–5505.
- Todorov, N.A., Pavlov, D.C. & Kostov, K.D. 1996. Lupin (*Lupinus* spp.). Teoksessa: Smartt J., Nwokolo E. (toim) Food and Feed from Legumes and Oilseeds. Chapman & Hall. London. ss. 113–123.
- Tontti, T. & Mäkelä-Kurtti, R. 1999. Biojätekompostit kasvintuotannossa. Maatalouden tutkimus-keskuksen julkaisuja, Sarja A 64. 57 s. ISBN 951-729-553-7.
- Tukes. Tiivistelmä kosmetiikka-asetuksen velvoitteista. Viitattu 27.3.2017. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/Kosmetiikka/Kosmetiikka-asetuksen_velvoitteet.pdf
- Törrönen, R., Mykkänen, H. 2012. Vierasaaineet ja lisäaineet. Teoksessa: Aro, A., Mutanen, M. & Uusitupa, M. (toim.). Ravitsemustiede, 4. uudistettu painos. Kustannus Oy Duodecim, Helsinki. ss. 221–235.
- Ulvinen, T. & Varkki, A. 1999. Uusia tietoja Pohjois-Suomen kasvistosta 2. Tulokaskasveja ja viljelykarkulaisia. *Lutukka* 15: 67–89.
- Uuselintarvikeasetus (EU) 2015/2283. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EU) 2015/2283, annettu 25 päivänä marraskuuta 2015, uuselintarvikkeista, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) N:o 1169/2011 muuttamisesta sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 258/97 ja komission asetuksen (EY) N:o 1852/2001 kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 327/1. Viitattu 6.3.2017. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R2283&from=EN>
- Ventura, S.P.M., de Barros, R.L.F., Sintra, T., Soares, C.M.F., Lima, Á.S. & Coutinho, J.A.P. 2012. Simple screening method to identify toxic/non-toxic ionic liquids: Agar diffusion test adaptation. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 83: 55–62.
- Viljakainen, S. 2016. Luonnonvaraiset kasvit ja elintarviketurvallisuus. Evira. Viitattu: 16.3.2017. Saatavissa: https://www.evira.fi/globalassets/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/uuselintarvikkeet/artikkeli_luonnonvaraiset_kasvit_ja_elintarviketurvallisuus.pdf

- Vitie, M-L. 2009. Biokaasua järvikasveista. Rehevöityneiden järvien niittojätteen metaanintuottopotentiali. Lahden ammattikorkeakoulu. Tekniikan laitos. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Ympäristöbiotekniikan suuntautumisvaihtoehto. Opinnäytetyö. 63 s.
- VRN, Valtion Ravitsemusneuvottelukunta 2014. Terveyttä ruoasta – Suomalaiset ravitsemussuosituks 2014. Viitattu: 8.3.2016. Saatavissa: https://www.evira.fi/globalassets/vrn/pdf/ravitsemussuosituks_2014_fi_web.3_es-l.pdf
- Väisänen, A. 2014. Vesiruttotutkimuksista Kuusamossa. Kitka-Muha-hankkeen työryhmän kokous 16.6.2014. <http://www.syke.fi/download/noname/%7BEEF0B3CD-F283-4D05-9DBF-9D7D8850366B%7D/100983>
- Väisänen, A., Hellsten, S., Aikio, S. & Oksanen J. 2011. Changes in aquatic macrophyte communities in large oligotrophic Lake Ala-Kitka, northeastern Finland – effects of invasive aquatic macrophyte *Elodea canadensis*. Teoksessa: Bohren, C., Bertossa, M., Schönenberger, N., Rossinelli, M. & Conedera, M. (toim.) 3rd International Symposium of Environmental Weeds and Invasive Plants. Abstracts. October 2 to 7, 2011. Monte Verità, Ascona, Switzerland.
- Väisänen, T. 2009. Sedimentin kemikalointikäsitely. Tutkimus rehevän ja sisäkuormitteisen järven kunnostusmenetelmän mitoituksesta sekä sen tuloksellisuuden mittaamisesta. Acta Universitatis Ouluensis C Technica 345, Oulun yliopisto, Oulu.
- Väänänen, V-M. & Nummi, P. 2003. Puolisukeltajasorsien ravinto rehevillä vesillä. Suomen Riista 49: 7–16.
- Weiland, P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology 85: 849–860.
- Ympäristöhallinto 2017. Vesikasvien poisto ja niitto. Viitattu 24.3.2017. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistojen_kunnostus/Rantojen_kunnostus/Vesikasvien_poisto
- Zakynthinos, G. & Varzakas, T. 2016. Carotenoids: From Plants to Food Industry. Current Research in Nutrition and Food Science 4 (Special Issue 1): 38–51
- Zehnsdorf, A., Hussner, A., Eismann, F. & Röncke, H. 2015. Management options of invasive *Elodea nuttallii* and *Elodea canadensis*. Limnologia 51: 110–11

LIITTEET

LIITE 1. Vesiruton biomassan ravinneanalyysitulokset (n=1)

Analyysit	Menetelmä	Määr. raja	Näyte	Kuusamo- järvi	Toranki- järvi	Yli- Kitka
Boori, B	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	4	mg/kg ka	11	13	10
Kalsium, Ca	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	200	mg/kg ka	13700	16100	16500
Kupari, Cu	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	1,5	mg/kg ka	3,5	3,8	2,2
Hiili/Typpi-suhde (m/m)				21,4	10,2	16
Kuiva- ainepitoisuus (105 °C)	SFS-EN ISO 13040:en 2000 / OUL		%	10,4	8,7	7,8
Rauta, Fe	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	30	mg/kg ka	1930	2770	1200
Kalium, K	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	100	mg/kg ka	31600	31300	39300
Magnesium, Mg	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	20	mg/kg ka	2540	3370	2810
Mangaani, Mn	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	1	mg/kg ka	1380	25800	1700
Natrium, Na	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	40	mg/kg ka	3080	5960	2210
Fosfori, P	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	20	mg/kg ka	2080	4810	2940
Hiili (C) kuiva-aineessa	SFS-EN ISO 16948:2015/OUL	1000	mg/kg	407000	391000	406000
Typpi (N) kuiva-aineessa	SFS-EN ISO 16948:2015/OUL	300	mg/kg	19000	38400	25400
Rikki, S	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	50	mg/kg ka	2290	2650	2760
Sinkki, Zn	EPA3051(NHO3), SFS-EN ISO 11885:09/OUL	3	mg/kg ka	20	25	62

LIITE 2. Vesiruton kuiva-aineen alkuainemäärät

	Vesiruton kuiva-aineessa oleva alkuainemäärä (mg/m ²)			Näytemäärä
	YLI-KITKA	TORANKIJÄRVI	KUUSAMOJÄRVI	
Fosfori	1967	3530	690	1
Typpi	16993	28178	6302	1
Alumiini	142	59	206	4
Arseeni	0,12	0,24	0,08	4
Barium	114	1504	61	4
Boori	7	10	3,6	1
Hiili	271628	286921	134985	1
Kadmium	0,028	0,017	0,015	4
Kalium	26293	22968	10480	1
Kalsium	11039	11814	4544	1
Koboltti	0,6	0,8	0,3	4
Kromi	1,3	0,3	0,9	4
Kupari	1,5	2,8	1,2	1
Kupari	1,5	3,1	1,1	4
Lyijy	0,21	0,03	0,10	4
Magnesium	1880	2473	842	1
Mangaani	1137	18932	458	1
Mangaani	1070	21281	340	4
Natrium	1479	4374	1022	1
Nikkeli	0,8	1,3	0,5	4
Rauta	803	2033	640	1
Rauta	1806	1541	755	4
Rikki	1847	1945	759	1
Rubidium	1,8	3,9	0,9	4
Seleen	0	0	0	4
Sinkki	26	9,0	4,1	4
Strontium	35	53	18	4
Vanadiini	1,1	0,5	0,8	4

LIITE 3. Rejektin ravinne- ja haitta-aineanalyysitulokset

Analyytit	Menetelmä	Määr. raja	Näyte	Kuusamo- järvi	Toranki- järvi	Yli- Kitka
Boori, B	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,2	mg/l	2,2	1,14	1,05
Kalsium, Ca	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,5	mg/l	929	1130	752
Kadmium, Cd	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,02	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Koboltti, Co	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,03	mg/l	0,11	0,11	0,076
Kromi, Cr	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,1	mg/l	0,96	2,28	0,59
Kupari, Cu	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,05	mg/l	3,75	8,5	2,68
Elohopea, Hg	SFS-EN ISO 17294-2:2005 / OUL	2	µg/l	3,69	3,44	3,39
Kalium, K	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	5,0	mg/l	1520	1550	1390
Magnesium, Mg	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,25	mg/l	207	203	139
Mangaani, Mn	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,05	mg/l	62,1	1750	54,7
Molybdeeni, Mo	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,05	mg/l	0,12	0,093	0,065
Natrium, Na	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	2,5	mg/l	224	370	149
Nikkeli, Ni	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,05	mg/l	0,58	1,42	0,32
Fosfori, P	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,5	mg/l	479	537	376
Fosfori, P (liukoinen)	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,05	mg/l	6,8	24,3	6,94
Lyijy, Pb	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,15	mg/l	0,23	0,26	0,2
Rikki, S	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	2,5	mg/l	249	258	190
Sinkki, Zn	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	0,1	mg/l	9,41	10,4	8,59
Pii, Si	SFS-EN ISO 11885:2009 / OUL	1,5	mg/l	1600	636	639
pH	SFS 3021:1979 / OUL			7,3	7,6	7,2
Sähkönjohtavuus	SFS-EN 27888:1994 / OUL	1,0	mS/m	1100	1800	1100
TC	SFS-EN 1484:1997 / OUL	0,5	mg/l	5030	7060	4350
TOC	SFS-EN 1484:1997 / OUL	0,5	mg/l	700	1120	636
Typpi	SFS-EN ISO 11905-1:1998 / ROI	0,050	mg/l	16000	24000	15000
Typpi, liukoinen	SFS-EN ISO 11905-1:1998 / ROI	0,050	mg/l	6400	9400	8300
Kiintoaineen hehkutus- jäännös	sisäinen menetelmä / ROI	1,0	mg/l	110000	1400	65000
Kiintoaine suodatettu 0,45µm	SFS-EN 872:2005 / ROI	1,0	mg/l	210000	220000	150000

Lisätiedot: C/N suhde = 0,3. Näytteet märkäpoltettu (SFS-EN ISO 15587-2:2002) alkuaineanalyysiin.
 Si: HNO₃/HF, muut: HNO₃. Kiintoaineen ja kiintoaineen hehkutusjäännöksen tulokset ovat suuntaa antavia
 suuren määrän takia. (n=1)

LIITE 4. Rejektin hygienia-analyysit

Analyysi	Menetelmä	Yksikkö	Yli-Kitka	Kuusamo-järvi	Toranki-järvi
Lämpökestoiset kolibakteerit *	NMKL 125:2005	pmy/g	<10	<10	<10
<i>E. coli</i> *	NMKL 125:2005	pmy/g		<10	<10
<i>E. coli</i> , varmistettu *	NMKL 125:2005	pmy/g	<10		
Salmonella *	ISO 6579/Amend. 1:2007	/25g	Ei todettu	Ei todettu	Ei todettu

* = menetelmä akkreditoitu

pmy = pesäkkeenmuodostusyksikkö

LIITE 5. Biomassan peruskoostumus, aminohappo- ja rasvahappoanalyysit

Analyysi		Kuusamojärvi	Torankijärvi	Yli-Kitka
Raakavalkuainen	g/kg ka	114,1	231,3	152,8
Raakarasva	g/kg ka	2,90	1,08	5,98
Tuhka	g/kg ka	186,9	203,4	166,0
NDF	g/kg ka	378,4	302,4	354,0
ADF	g/kg ka	186,2	161,1	191,1

Aminohapot		Yhdistetty näyte: Kuusamojärvi + Torankijärvi + Yli-Kitka		% kuiva-aineesta
		Proteiinit yht.		
Ala	g/kg ka	7,46	5,32	0,70
Arg	g/kg ka	8,71	6,21	0,81
Asp	g/kg ka	30,04	21,43	2,80
CyS	g/kg ka	1,74	1,24	0,16
Glu	g/kg ka	14,01	9,99	1,30
Gly	g/kg ka	9,54	6,80	0,89
His	g/kg ka	3,12	2,23	0,29
Ile	g/kg ka	5,42	3,87	0,51
Met	g/kg ka	3,37	2,40	0,31
Leu	g/kg ka	10,41	7,42	0,97
Lys	g/kg ka	6,78	4,84	0,63
Orn	g/kg ka	0,08	0,06	0,01
Phe	g/kg ka	6,86	4,89	0,64
Pro	g/kg ka	5,92	4,22	0,55
Ser	g/kg ka	7,88	5,62	0,73
Tau	g/kg ka	0,03	0,02	0
Thr	g/kg ka	5,96	4,25	0,56
Tyr	g/kg ka	5,65	4,03	0,53
Val	g/kg ka	7,23	5,16	0,67
Trp*	g/kg ka	0	0	0

* Ei tehty

Analyysimenetelmät

Aminohapot: Accredited In-house method No. JOK2001: Determination of amino acids (UPLC). European Commission (1998). Commission Directive 98/64/EC. Community Methods of Analysis for the determination of amino acids, crude oils and fats, and olaquinox in feeding stuffs and amending Directive 71/393/EEC. Official Journal L 257, 19/09/1998 p. 14-28. Total (peptide bound and free) amino acid analysis was performed with Waters Finland MassTrak UPLC (Waters Corporation, Milford, U.S.A) and the application was UPLC Amino Acid Analysis Solution®.

Happodetergenttikuitu (ADF): ADF Method (Method 5) : Acid Detergent Fiber in Feeds - Filter Bag Technique (for A200 and A200i) using 25 microns nylon bags (F57, ANKOM Technology) and ANKOM 220 Fiber Analyzer (ANKOM Technology, 2052 O'Neil Road, Macedon NY 14502). Detergent solution was made according to Robertson, J.B. and Van Soest, P.J. 1981. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: James, W.D.T. and Theander, O. (eds.). The Analyses of dietary Fibre in Foods. New York, NY, Marcell Dekker. p. 123–158.

In vitro -sulavuudet: Apparent ileal digestibility (pigs): Boisen, S. and Fernández, J.A. 1995. Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology*, 51: 29-43. Total tract digestibility (pigs): Boisen, S. and Fernández, J.A. 1997. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and in pig diets by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology*, 68: 277-286.

Neutraalidetergenttikuitu (NDF): NDF Method (Method 6) : Neutral Detergent Fiber in Feeds - Filter Bag Technique (for A200 and A200I) using 25 microns nylon bags (F57, ANKOM Technology) and ANKOM 220 Fiber Analyzer (ANKOM Technology, 2052 O'Neil Road, Macedon NY 14502). Detergent solution was made according to Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597.

Rasvahapot:

Raakarasva: FINAS accredited In-house method JOK3008: Foss Tecator Application Note 320 ja 3460, which are based on methods: AOAC Official Method 920.39 Fat (Crude) or Ether Extract in animal Feed (AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, ISBN 0-935584-42-0) and AACC method 30-25 Crude fat in Wheat, Corn, and Soy Flour, Feeds, and Mixed Feeds.

Raakavalkuainen: Accredited In-house method JOK2002; AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA 1298 p. ISBN 0-935584-42-0). Kjeldahl-method, method 984.13. using Cu as a digestion catalyst and using Foss Kjelttec 2400 Analyzer Unit (Foss Tecator AB, Höganäs, Sweden).

Rasvahapot: Fatty acids were extracted and esterified by 2% (vol/vol) methanolic sulphuric acid in chloroform (Shingfield et al., 2003). Fatty acid methyl esters (FAME) were analysed with a gas chromatograph (6890N, Agilent Technologies, Santa Clara, CA) equipped with a CP-Sil 88 column (100 m × 0.25 mm i.d., 0.2 µm film thickness, Agilent Technologies) and flame ionization detector using a temperature gradient program and hydrogen as a carrier gas (Shingfield et al., 2003). Identification was based on retention time comparisons with authentic FAME standards (Larodan Fine Chemicals AB, Malmö, Sweden; Nu-Check Prep Inc., Elysian, MN; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO) and verified by gas chromatograph-mass spectrometer (6890 and 5973, Agilent Technologies) in positive electron ionization mode for FAME and corresponding 4,4-dimethyloxazoline derivatives (Shingfield, K.J., Ahvenjärvi, S., Toivonen V., Ärölä, A., Nurmela, K.V.V., Huhtanen, P., Griinari, J.M. 2003. Effect of dietary fish oil on biohydrogenation of fatty acids and milk fatty acid content in cows. *Animal Science* 77:165-79)

Tuhka: 600°C for 2 h. Official method AOAC-942.05 (Association of Official Analytical Chemists, USA).

LIITE 6. Karotenoidi-, tokoli-, antioksidanttiaktiivisuus- ja flavonoidianalyysit

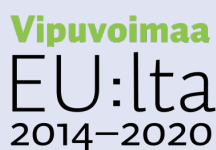
Vesiruttonäyte		Kuusamojärvi			Torankijärvi			Yli-Kitka		
		keskiarvo	stdev	CV%	keskiarvo	stdev	CV%	keskiarvo	stdev	CV%
Karotenoidit	luteiini mg/100g	12,93	0,55	4,25	25,02	0,03	0,10	20,87	0,48	2,30
	b-karoteeni mg/100g	1,53	0,02	1,06	3,39	0,03	0,82	1,94	0,03	1,34
Karotenoidien kokonaismäärä b-karoteenina ¹⁾	mg/100g	92,88	3,57	3,84	189,08	4,04	2,14	142,85	1,58	1,11
Tokolit (E-vitamiini)	alfatokoferoli mg/100g	2,07	0,13	6,39	2,55	0,29	11,39	2,89	0,37	12,72
	betatokoferoli (kerroin 0,4)	0,33	0,02	4,87	0,19	0,02	8,58	0,39	0,03	7,18
alfa-tokoferoli ekvivalenttina	mg/100g	2,20	0,13	5,94	2,62	0,30	11,31	3,04	0,38	12,42
Antioksidatiivisuus ORAC	TEAC μmol/100g	2814,93	258,99	9,20	2305,08	345,24	14,98	6554,11	250,88	3,83
Flavonoidit ²⁾	summa hap- pohaj. HPLC kversetiininä mg/100 g	71,19	2,34	3,28	63,45	1,39	2,20	136,32	4,00	2,94
Terpeenit ³⁾	GC-MS	nd			nd			nd		

¹⁾ Saattaa olla ettei kaikkia esteröityneitä karotenoideja saatu saippuoitua. Pitäisi optimoida vesirutolle erikseen.

²⁾ Useita flavonoideja, mutta laskettu summana

³⁾ Vapaita rasvahappoja ja steroleita

Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi (Elodea) -hankkeessa etsittiin erilaisia vesiruton käyttötapoja, joiden kautta vesistöistä nostettua biomassaa voitaisiin hyödyntää kierto- ja biotalouden tavoitteiden mukaisesti vesistökunnostuksessa. Tässä julkaisussa on esitelty tutkimustuloksia vesiruton hyötykäyttömahdollisuuksista biokaasutuksessa, maanparannusaineena, kasvitautitorjunnassa, rehuna, sekä jatkojalosteena ravintokäyttöön ja kosmetiikkateollisuuteen. Toimintamalli nostaa esille asioita, jotka tulisi ottaa huomioon vesiruttoa järvestä poistettaessa ja sitä hyödynnettäessä eri tarkoituksiin. Toimintamallissa tuodaan myös esille vielä selvitettävät seikat hyötykäytön mahdollistamiseksi sekä käyttöön liittyvät riskit. Tämän toivotaan myös auttavan tahoja, jotka suunnittelevat liiketoiminnan aloittamista vesiruton poistamiseksi vesistöistä tai vesiruttomassan jatkokäytössä.



ISBN 978-952-11-4843-9 (nid.)

ISBN 978-952-11-4844-6 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkok.)